

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

**“EVALUACIÓN TÉCNICO VISUAL DE PUENTES ANTE
FENÓMENOS NATURALES Y EVALUACIÓN ANTE CARGAS”**

ESCOBAR CANDO GABRIELA LIZBETH
OÑA PINTADO GABRIELA ALEXANDRA

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, JULIO 2017

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por permitirme estar aquí cumpliendo esta meta, con su bendición seguiré logrando mucho más.

A mi madre, Emma Cando, por todo su amor, apoyo y sacrificio día a día para permitirme alcanzar este sueño.

A mis hermanos y familiares que siempre han estado pendientes de mí, por su preocupación y apoyo.

A las personas que estuvieron a lo largo de todo este camino, Ruth, Dome, Maci y Gaby. Gracias infinitas por su amistad. A mi tocaya y compañera de tesis, por la paciencia y apoyo en todo este camino. Y a quien ha estado día a día junto a mí, gracias por todo tu amor, mi Jimmysito.

Al Ing. Wilson Cando, director de la presente disertación de grado, por toda su ayuda, apoyo y motivación a lo largo del mismo.

A los ingenieros Oscar Jaramillo y Jorge Bucheli, por su tiempo y ayuda constante.

A todos los profesores que me impartieron sus conocimientos durante estos años de carrera, sin los cuales no lo habría logrado.

Gabriela Lizbeth Escobar Cando.

DEDICATORIA

A la mujer más importante de mi vida y a quien debo todo, mi madre Emma Cando.

Por su ejemplo de perseverancia, trabajo y por enseñarme que siempre estará para mí. Todo ha sido y siempre será por ti mamá.

Hoy alcanzo esta meta gracias a ti, como una de las tantas que quiero cumplir para llenarte de orgullo.

Gabriela Lizbeth Escobar Cando

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir una de mis grandes metas, bendiciéndome cada día.

A mi madre Magdalena Pintado por todos los sacrificios que ha hecho para darme la oportunidad de alcanzar este sueño.

A mi familia por todo su amor y apoyo incondicional, cada uno significa una luz en mi vida.

A las personas que me acompañaron en este arduo camino y sin su presencia no lo estaría logrando Pin, Taly, Conchis, Gorda, Cindy y Jayro en especial a ti por ese amor absoluto, apoyo, preocupación constante e incentivarme a ser mejor cada día.

Al Ing. Wilson Cando director del presente proyecto por su paciencia y motivación en el transcurso del mismo. A mis estimados correctores los ingenieros Oscar Jaramillo y Jorge Bucheli por su tiempo y colaboración.

A cada uno de los profesores que han formado parte de mi educación por el conocimiento que me han impartido sin el cual no estaría en este lugar.

Gabriela Alexandra Oña Pintado

DEDICATORIA

A las dos mujeres más importantes en mi vida por ustedes y para ustedes es este logro mi madre Magdalena Pintado y mi abuelita Lucila Llangarí, por su ejemplo de perseverancia, amor, confianza y apoyo que me han demostrado a lo largo de mi vida.

A una persona muy especial que sin tener obligación conmigo y a pesar de la distancia siempre ha confiado en mí y ha velado por mi bienestar, Roberto Aguirre.

A mi hermano Carlos Andrés por haber sido como un padre que me ha sabido guiar por el buen camino, me ha apoyado en cada una de mis decisiones y ha cuidado de mí en todo momento.

He alcanzado una de mis metas y la he logrado gracias a su apoyo, espero seguir llenándolos de orgullo.

Gabriela Alexandra Oña Pint

INDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1 Introducción.....	1
CAPÍTULO II.	5
2. Problema de Investigación.....	5
2.1 Identificación y planteamiento del problema	5
2.2 Objetivos	6
2.2.1 Objetivo General	6
2.2.2 Objetivos Específicos.....	7
2.3 Alcance	7
2.4 Justificación.....	14
CAPITULO III.....	15
3. Marco Teórico.....	15
3.1 Conceptos Generales de Fenómenos Naturales.....	15
3.2 Conceptos Generales de Puentes	24
3.2.2 Clasificación	24
3.2.3 Elementos Que Los Constituyen	28
3.3 Área de Estudio	30
3.3.1 Delimitación.....	33
3.3.2 Rio Pita, Santa Clara y San Pedro.....	37
3.3.3 Geología Local	38
3.3.4 Tipos de suelos.....	41

3.3.5	Zona Sísmica.....	41
3.4	Amenazas	42
3.4.1	Amenazas Volcánicas	43
3.4.2	Amenazas Sísmicas.....	53
CAPITULO IV		57
4.	Metodología y Técnicas de Estudio.....	57
4.1	Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	57
4.2	Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos.....	60
CAPITULO V		75
5.	Evaluación y resultados	75
5.1	Río Santa Clara - Puente de Hormigón Armado “Av. Yaguachi”, Sector Santa Bárbara.	76
5.1.1	Ficha de Inspección.....	77
5.1.1.	Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	78
5.1.2.	Análisis de la Ficha de Evaluación	78
5.1.3.	Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	80
5.1.4.	Análisis de la Ficha de Evaluación	81
5.2.	Río Santa Clara - Puente de Hormigón Armado “Calle Isla Pinzón e Isla Santiago”, Sector San Rafael.....	82
5.2.1.	Ficha de Inspección.....	83
5.2.2.	Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	84
5.2.3.	Análisis de la Ficha de Evaluación	84
5.2.4.	Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	86
5.2.5.	Análisis de la Ficha de Evaluación	87

5.3. Río San Pedro - Puente de Mampostería de Ladrillo “Calle La Concordia” Sector	
San Pedro.	88
5.3.1. Ficha de Inspección.....	89
5.3.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	90
5.3.3. Análisis de la Ficha de Evaluación	90
5.3.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	92
5.3.5. Análisis de la Ficha de Evaluación	93
5.4. Río San Pedro - Puente de Hormigón Armado “Calle La Concordia”, Sector	
San Pedro.....	94
5.4.1. Ficha de Inspección.....	95
5.4.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	96
5.4.3. Análisis de la Ficha de Evaluación	96
5.4.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	98
5.4.5. Análisis de la Ficha de Evaluación	99
5.5. Río Pita - Puente de Hormigón Armado “Calle Isla Genovesa”, Sector Playa	
Chica. 100	
5.5.1. Ficha de Inspección.....	101
5.5.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	102
5.5.3. Análisis de la Ficha de Evaluación	102
5.5.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	104
5.5.5. Análisis de la Ficha de Evaluación	105
5.6. Río Pita - Puente de Hormigón Armado “Pasaje Zamora”, Sector El Progreso.	106
5.6.1. Ficha de Inspección.....	107
5.6.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas.....	108

5.6.3.	Análisis de la Ficha de Evaluación	108
5.6.4.	Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos	110
5.6.5.	Análisis de la Ficha de Evaluación	111
CAPITULO VI.....		112
6.	Conclusiones y Recomendaciones.....	112
Bibliografía		114

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Av. Yaguachi.	8
Tabla 2. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calles Isla Pinzón e Isla Santiago	9
Tabla 3. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calle Isla Genovesa	10
Tabla 4. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Pasaje Zamora	11
Tabla 5. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de mampostería de ladrillo, La Concordia.....	12
Tabla 6. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calle La Concordia (Ampliación)	13
Tabla 7. Tipos de Suelos en la ubicación de cada puente estudiado.....	41
Tabla 8. Afectación de los lahares por el cauce del Río Santa Clara.....	52
Tabla 9. Afectación de los lahares por el cauce del Río San Pedro.....	52
Tabla 10. Afectación de los lahares por el cauce del Río Pita.....	52
Tabla 11. Variables para la evaluación de la vulnerabilidad.....	58
Tabla 12. Ficha de la metodología usada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos para la evaluación de vulnerabilidad ante un fenómeno volcánico.....	59
Tabla 13. Análisis cualitativo de vulnerabilidad para la interpretación de los resultados.	60
Tabla 14. Ficha de la metodología usada por SIPUMEX Modificado para la evaluación de vulnerabilidad ante un fenómeno sísmico.....	62
Tabla 15. Categorías “Año de Construcción”	63
Tabla 16. Categorías “Irregularidad en la Subestructura	65
Tabla 17. Categorías “Irregularidad en la Superestructura”	66
Tabla 18. Categorías “Cimentación”.....	66
Tabla 19. Categorías “Importancia del puente”	67

Tabla 20. Categorías “Peligrosidad sísmica”	67
Tabla 21. Categorías “Juntas de Expansión”	68
Tabla 22. Categorías “Estribos”	68
Tabla 23. Categorías “Pilas”	69
Tabla 24. Categorías “Apoyos”	70
Tabla 25. Categoría “Trabes”	71
Tabla 26. Categoría “Estado de Conservación”	72
Tabla 27. Análisis cualitativo para la determinación del grado de vulnerabilidad.	74
Tabla 28. Calificación Cualitativa del Método Modificado SIPUMEX	74
Tabla 29. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Santa Clara. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	79
Tabla 30. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	79
Tabla 31. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Santa Clara. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	85
Tabla 32. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	85
Tabla 33. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río San Pedro. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	91
Tabla 34. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	91
Tabla 35. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río San Pedro. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	97
Tabla 36. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	97
Tabla 37. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Pita. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	103
Tabla 38. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	103
Tabla 39. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Pita. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)	109
Tabla 40. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica.....	109
Tabla 41. Tabla Resumen Vulnerabilidad Volcánica	112
Tabla 42. Tabla Resumen Vulnerabilidad Sísmica	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del puente Av. Yaguachi	8
Figura 2 Puente Av. Yaguachi	8
Figura 3 Ubicación Puente Isla Pinzón e Isla Santiago. Sector San Rafael.	9
Figura 4 Puente Isla Pinzón e Isla Santiago.	9
Figura 5 Ubicación Puente Calle Isla Genovesa.	10
Figura 6 Puente Calle Isla Genovesa.	10
Figura 7. Ubicación Puente Pasaje Zamora.	11
Figura 8. Puente Pasaje Zamora.	11
Figura 9 Ubicación Puente de mampostería La Concordia.	12
Figura 10 Puente de mampostería La Concordia.	12
Figura 11 Ubicación Puente La Concordia (Ampliación).	13
Figura 12 Puente La Concordia (Ampliación).	13
Figura 13. Elementos de un volcán.	20
Figura 14. Falla normal.	22
Figura 15. Falla inversa.	22
Figura 16. Falla longitudinal.	23
Figura 17. Esquema de superestructura y subestructura de un puente.	29
Figura 18. Esquema de los elementos que conforman la superestructura y subestructura.	30
Figura 19. Mapa político de Pichincha.	31
Figura 20. Mapa de las parroquias del Cantón Rumiñahui.	32
Figura 21. Mapa de afectación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi.	33
Figura 22. Mapa de afectación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, concentrado en el área de estudio.	34
Figura 23. Ubicación de los 6 puentes a ser evaluados.	36
Figura 24. Esquema gráfico de los sistemas fluviales que se alimentan del deshielo de los glaciares provenientes del volcán Cotopaxi.	38
Figura 25. Poblaciones ecuatorianas y valor de factor Z asignado a cada una.	42

Figura 26. Caracterización de Peligro Sísmico para el valor de factor Z adoptado.....	42
Figura 27. Mapa de ubicación de los volcanes que delimitan el Valle de los Chillos, además clasificación según su actividad volcánica, siendo extinto o dormido (última erupción hace más de 10 000 años), potencialmente activo (última erupción hace menos de 10 000 años), activo (última erupción hace más de 500 años) y en erupción (con actividad eruptiva en 2011-válido para 2016).....	44
Figura 28. Modelo 3D en el que se aprecia la morfología de la cuenca norte del Volcán Cotopaxi.	45
Figura 29. Volcán Inactivo “Ilaló”	46
Figura 30. Volcán inactivo “Pasochoa”	47
Figura 31. Volcán “Antisana”	48
Figura 32. Zonas que serían potencialmente afectadas por inundaciones de lahares ante la posible erupción del volcán Cotopaxi.	51
Figura 33. Ubicación de la falla geológica de Quito.....	54
Figura 34. Mapa de la falla geológica del Cantón Rumiñahui.....	55
Figura 35. Modelo Regular.	64
Figura 36. Modelo Irregular, pila extrema menor que pila central.	64
Figura 37. Modelo Irregular, pila extrema mayor que pila central.	64
Figura 38. Grafico explicativo del esviaje de un puente	65
Figura 39. Puente de vigas Monolíticas.	71
Figura 40. Puente de vigas Continuas.	71
Figura 41. Puente de vigas Simplemente Apoyadas.	72
Figura 42. Puente Av. Yaguachi.	76
Figura 43. Vista en Elevación. Puente de Hormigón Armado Av. Yaguachi.....	76
Figura 44. Corte transversal puente Av. Yaguachi.	76
Figura 45. Puente Isla Pinzón e Isla Santiago.	82
Figura 46. Vista en elevación puente de hormigón armado Isla Santiago.	82
Figura 47. Corte transversal puent de hormigón armado Isla Santiafo.	82
Figura 48. Puente de Mampostería La Concordia.....	88

Figura 49. Vista en elevación del puente de mampostería de ladrillo La Concordia.....	88
Figura 50. Corte transversal puente de mampostería de ladrillo La Concordia.....	88
Figura 51. Puente La Concordia (Ampliación).....	94
Figura 52. Vista en elevación del puente de hormigón armado La Concordia.	94
Figura 53. Corte transversal del puente de hormigón armado La Concordia.	94
Figura 54. Puente Isla Genovesa.....	100
Figura 55. Vista en elevación del puente de hormigón armado Isla Genovesa.	100
Figura 56. Corte transversal puente de hormigón armado Isla Genovesa.....	100
Figura 57. Puente Pasaje Zamora.....	106
Figura 58. Vista en elevación del puente de hormigón armado Pasaje Zamora.	106
Figura 59. Corte transversal del puente de hormigón armado Pasaje Zamora.....	106

RESUMEN

Se presenta la siguiente disertación con el objetivo de aplicar una evaluación técnica – visual de estructuras ante fenómenos naturales como son eventos sísmicos y erupciones volcánicas, y su resistencia ante cargas, para prever su comportamiento. Este análisis está enfocado a 6 puentes que atraviesan los ríos Pita, Santa Clara y San Pedro; ubicados en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Se describirá las condiciones estructurales actuales de los 6 puentes en estudio, de manera visual; con el fin de determinar su vulnerabilidad ante los desastres naturales anteriormente especificados.

Para cumplir el objetivo de esta disertación se hace uso de una ficha técnica diseñada de tal manera que facilite obtener los datos necesarios para la aplicación de una evaluación técnica-visual ante eventos sísmicos y erupciones volcánicas.

Consecutivo a la obtención de datos, se analiza la ficha de inspección respectiva a cada puente en estudio con el fin de evaluar el índice de vulnerabilidad ante erupciones volcánicas y eventos sísmicos. Se hace uso del documento realizado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) del Ecuador, el mismo que evalúa varios parámetros físicos estructurales, con lo cual se obtiene una puntuación global y concluye en el análisis cualitativo que determina el grado de vulnerabilidad de la estructura ante erupciones volcánicas.

Por otra parte, para la determinación de vulnerabilidad ante eventos sísmicos de los puentes en estudio, se hace uso de la metodología propuesta por la Secretaría de

Comunicaciones y Transporte de México, la misma que es utilizada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, y propone evaluar parámetros físicos estructurales obteniendo una puntuación global, con lo cual se puede determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura ante eventos sísmicos.

De esta manera se podrán tomar medidas por parte de las autoridades competentes que permitirán mitigar la vulnerabilidad existente en las zonas aledañas a los puentes en estudio.

ABSTRACT

The following dissertation is presented with the objective of applying a technical - visual evaluation of structures to natural phenomena such as seismic events and volcanic eruptions, and their resistance to loads, to predict their behavior. This analysis is focused on 6 bridges that cross the Pita, Santa Clara and San Pedro rivers; Located in Rumiñahui Canton, Pichincha province.

The current structural conditions of the 6 bridges under study will be described visually; In order to determine their vulnerability to natural disasters previously specified.

In order to meet the objective of this dissertation, a technical sheet designed that will help to obtain all the information for the application of a technical-visual evaluation to seismic events and volcanic eruptions.

After obtaining data, the respective inspection file is analyzed for each bridge under study in order to evaluate the vulnerability index to volcanic eruptions and seismic events. It uses the document prepared by Secretaria Nacional de Gestion de Riesgos (SNGR) of Ecuador, which evaluates several structural physical parameters, which gives an overall score and concludes in the qualitative analysis that determines the degree of vulnerability of The structure to volcanic eruptions.

Otherwise, the methodology proposed by the Secretaria de Comunicaciones y Transporte de México, which is used by the Sociedad Mexicana de Ingenieria Estructural, is used to determine vulnerability to seismic events of the bridges under study, it proposes to evaluate the structural physical parameters obtaining an overall score, which can determine the degree of vulnerability of the structure to seismic events.

In this way it will be possible to take measures by the competent authorities that will allow to mitigate the existing vulnerability in the areas surrounding the bridges under study.

CAPÍTULO I.

1. Generalidades

En este primer capítulo, se plantea una breve introducción abarcando toda la información histórica sobre el Cantón Rumiñahui y la descripción de los 6 puentes en estudio que compete a este análisis, junto al origen de los tres ríos que son atravesados por las estructuras. Además, los antecedentes referentes a eventos sísmicos y erupciones volcánicas en el área de estudio.

1.1 Introducción

En la presente disertación el área de estudio es el Cantón Rumiñahui, área en la cual están ubicados los seis puentes analizados mediante la evaluación técnica visual ante fenómenos sísmicos y erupciones volcánicas.

El Cantón Rumiñahui se localiza en el Valle de los Chillos a 2550msnm y es uno de los ocho cantones que conforman la provincia de Pichincha, siendo su cabecera cantonal la parroquia urbana Sangolquí (Riesgos, 2013) , tiene una extensión de 134 km² aproximadamente y una población de alrededor de 85 900 habitantes según el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en el año 2010 (INEC, 2010). Se encuentra limitado al norte con el Cantón Quito, Urbanización Armenia, al sur con el Monte Pasochoa y el Cantón Mejía, al este con el

Cantón Quito, parroquias de Alangasí y Pintag; y al oeste con el Cantón Quito, Río San Pedro de Cuendina. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, s.f.)

Según su división política está formado por cinco parroquias: San Rafael, San Pedro de Taboada, Sangolquí (Cabecera Cantonal), Cotogchoa y Rumipamba, siendo las tres primeras parroquias urbanas y las dos siguientes parroquias rurales. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, s.f.)

El volcán Cotopaxi se encuentra ubicado en el valle interandino del Ecuador, entre las provincias de Pichincha y Cotopaxi, a una distancia de 35 km al Noreste de Latacunga y de 45 km al Sureste de Quito (IGEPN, Instituto Geofísico, 2016), su formación como la de otros volcanes ubicados en el valle interandino es el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (Mario Leiva, 1992). Con una altura de 5 897msnm, cuenta con un diámetro de 22km en la base.

Es considerado uno de los volcanes activos más altos del mundo y el de mayor peligro en el Ecuador, debido a su casquete de nieve y hielo. Por su localización representa un grave peligro para las zonas pobladas asentadas aguas abajo del mismo.

Desde su cima, los deshielos son drenados por numerosas quebradas, las cuales alimentan tres sistemas fluviales principales: 1) el río Cutuchi al occidente y al sur, 2) el río Tambo, afluente del río Napo, al oriente; y, 3) el río Pita que corre hacia el norte.

Este último es uno de los tres ríos por los cuales atraviesan los puentes en estudio, mismo que nace de los deshielos y vertientes de los volcanes Rumiñahui, Cotopaxi y Pasochoa (Riesgos, 2013). Este río atraviesa todo el valle de los Chillos y, casi al pie del

Ilaló se une con el San Pedro, otro de los ríos competentes a este análisis, el cual nace al suroeste de la hoya, atraviesa el valle de Machachi, llega al valle de los Chillos, donde cerca de Sangolquí recibe pequeños afluentes; poco antes de Conocoto recoge las aguas del Capelo. Su principal afluente es el río Pita. El río Santa Clara a su vez es afluente del Río San Pedro al igual que los ríos San Miguel y Cachaco.

Desde 1532 (principio de la época histórica del Ecuador) el Cotopaxi ha presentado cinco ciclos eruptivos principales en los años 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880. (Andrade, 2005) Aparte del ciclo actual, iniciado el 14 de Agosto del 2015, como menciona el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (IG-EPN, Informe especial volcán Cotopaxi N°7, 2015)

Los fenómenos volcánicos asociados a estas erupciones fueron: avalancha de escombros, caída de ceniza, derrames de lava, flujos piroclásticos, emisión de gases, lahares y sismos volcánicos; los mismos que afectaron severamente zonas aledañas al volcán, causando principalmente daños a propiedades en el sector agropecuario, así como pérdidas humanas y crisis económicas regionales. (Andrade, 2005)

El riesgo atribuido a una posible erupción volcánica requiere una mayor atención con los hechos ocurridos de acuerdo a los informes especiales presentados en junio del 2015 por el Instituto Geofísico de la Universidad Politécnica Nacional, la actividad sísmica del volcán Cotopaxi mostró cambios desde el mes de abril, aumentando los mismos en el mes de mayo llegando a contabilizar 3000 sismos locales que sobrepasan a los 628 registrados en abril y también con lo que sucedió durante la crisis 2001-2002, que ha

sido lo más importante en los últimos 15 años (IGEPN, 2015), el 14 de agosto del 2015 se registraron cuatro explosiones pequeñas acompañadas con emisiones de ceniza gases y vapor, que continuaron hasta el mes de noviembre. (IGEPN, Informe especial volcán Cotopaxi N9, 2015)

El valle de los chillos no se ha visto afectado únicamente por fenómenos volcánicos, sino también por eventos sísmicos a lo largo de su historia. Con bases en el estudio realizado por el Municipio del Cantón Rumiñahui en su Plan Estratégico del 2003. Se menciona que el cantón se encuentra atravesado por una falla geológica, la cual empieza en el sector sur del cantón en la Parroquia Cotogchoa, sector El Manzano dirigiéndose al norte, hasta finalizar en el cauce del Río Pita en la Parroquia de Sangolquí, sector la Colina. (Riesgos, 2013).

En base, a las investigaciones del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, Mapa de Sismicidad Histórica), la provincia de Pichincha, y por lo tanto el Cantón Rumiñahui se encuentra en una zona donde los registros sísmicos van de 0 a 7 grados de magnitud Richter, a partir de 1541 (sismicidad histórica) y 1990 (sismicidad instrumental) hasta la actualidad. (Riesgos, 2013)

En cuanto su resistencia ante cargas, los puentes serán evaluados en base a parámetros estructurales; esta evaluación es importante como mantenimiento continuo de los puentes en estudio ya que asegura su buen funcionamiento y la seguridad que deben brindar a los usuarios.

CAPÍTULO II.

2. Problema de Investigación

Éste capítulo presenta la problemática que se encuentra en la disertación titulada “Evaluación Técnico-Visual de puentes ante fenómenos naturales y evaluación ante cargas”; se establecen los objetivos y alcance del tema que se desarrolla, así como se justifica y delimita la investigación

2.1 Identificación y planteamiento del problema

El riesgo atribuido a una posible erupción volcánica requiere una mayor atención con los hechos ocurridos de acuerdo a los informes especiales presentados en junio del 2015 por el Instituto Geofísico de la Universidad Politécnica Nacional la actividad sísmica del volcán Cotopaxi, mostró cambios desde el mes de abril, aumentando los mismos en el mes de mayo llegando a contabilizar 3000 sismos locales que sobrepasan a los 628 registrados en abril y también con lo que sucedió durante la crisis 2001-2002, que ha sido lo más importante en los últimos 15 años (IGEPM, 2015), el 14 de agosto del 2015 se registraron cuatro explosiones pequeñas acompañadas con emisiones de ceniza gases y vapor, que continuaron hasta el mes de noviembre. (IGEPM, Informe especial volcán Cotopaxi N9, 2015)

Sin embargo, los fenómenos naturales producto de erupciones del volcán Cotopaxi no han sido los únicos en afectar al Valle de los Chillos.

El 16 de abril del 2016 se dio uno de los desastres sísmicos de mayor magnitud en la historia de Ecuador. Sismo de magnitud 7.8 (Mw), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales-Manabí, a 20 km de profundidad, fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca que se sumerge bajo la Sudamericana. (IGEPN, 2016)

El Valle de los Chillos no presentó ningún daño en las estructuras que conforman su poblado, sin embargo la amenaza sísmica en el cantón Rumiñahui es latente, razón por la cual se ve necesario la evaluación técnica-visual de puentes ante eventos sísmicos, concluyendo en el grado de vulnerabilidad que estas estructuras presentan y así, ser una fuente de información ante las medidas pertinentes que tomen las autoridades con el fin de prevalecer vidas humanas.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Describir las condiciones estructurales actuales de manera visual de los 6 puentes que atraviesan los ríos Santa Clara, San Pedro y Pita, con el fin de prever su comportamiento ante erupciones volcánicas, eventos sísmicos y presencia de cargas, identificando su grado de vulnerabilidad.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a) Describir el recorrido histórico y magnitud de los fenómenos naturales que han tenido lugar en las zonas de los ríos Santa Clara, San Pedro y Pita, ubicados en el Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha.
- b) Observar las condiciones actuales de los 6 puentes que atraviesan los ríos: Santa Clara, San Pedro y Pita.
- c) Determinar el grado de vulnerabilidad y prever los daños que causarían nuevos eventos sísmicos o erupciones volcánicas a los 6 puentes en estudio.

2.3 Alcance

El presente trabajo de disertación trata la aplicación de una evaluación técnica visual de puentes ante fenómenos naturales, tales como sismos y erupciones volcánicas para los puentes que se muestran a continuación. Mismos que atraviesan el río Santa Clara, río San Pedro y río Pita, localizados dentro del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

La aplicación de este método permite diagnosticar el grado de vulnerabilidad de los puentes analizados ante la amenaza de fenómenos naturales, esto basándonos en el estado físico-estructural de cada uno de ellos.

PUENTES SOBRE EL RÍO SANTA CLARA

- Puente de hormigón armado, Av. Yaguachi. Sector Santa Bárbara

Tabla 1 Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Av. Yaguachi.

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
783964.5588	9964753.715	17	22.60	21.50

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)



Figura 1 Ubicación del puente Av. Yaguachi

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 2 Puente Av. Yaguachi

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

- Puente de hormigón armado, Isla Pinzón e Isla Santiago. Sector San Rafael

Tabla 2. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calles Isla Pinzón e Isla Santiago

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
783281.4785	9966295.541	17	26	10.40

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

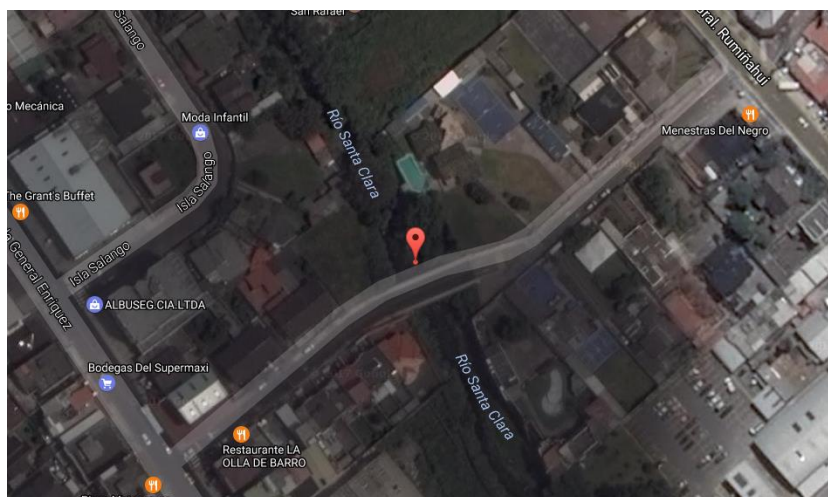


Figura 3 Ubicación Puente Isla Pinzón e Isla Santiago. Sector San Rafael.
Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 4 Puente Isla Pinzón e Isla Santiago.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

PUENTES SOBRE EL RÍO PITA

- Puente de hormigón armado, Calle Isla Genovesa. Sector Playa Chica

Tabla 3. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calle Isla Genovesa

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
784014.7931	9970104.941	17	32	13

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

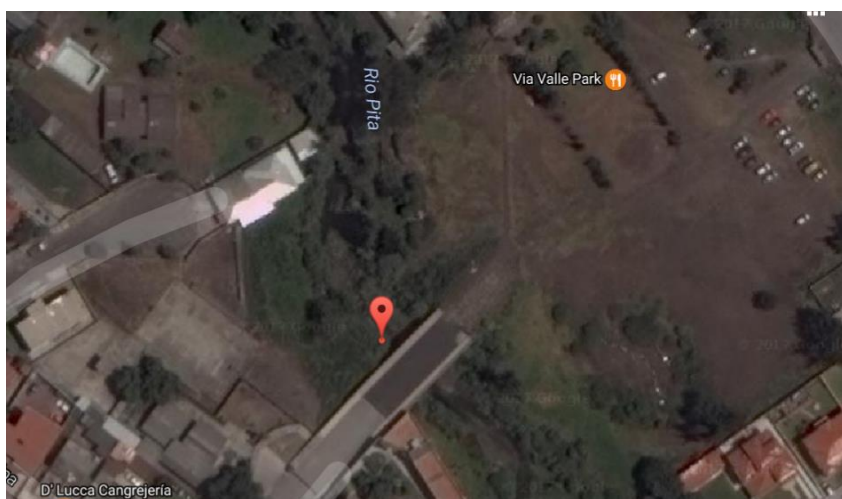


Figura 5 Ubicación Puente Calle Isla Genovesa.

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 6 Puente Calle Isla Genovesa.

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

- Puente de hormigón armado, Pasaje Zamora. Sector El Progreso

Tabla 4. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Pasaje Zamora

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
784591.0134	9965778.427	17	30	8.70

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

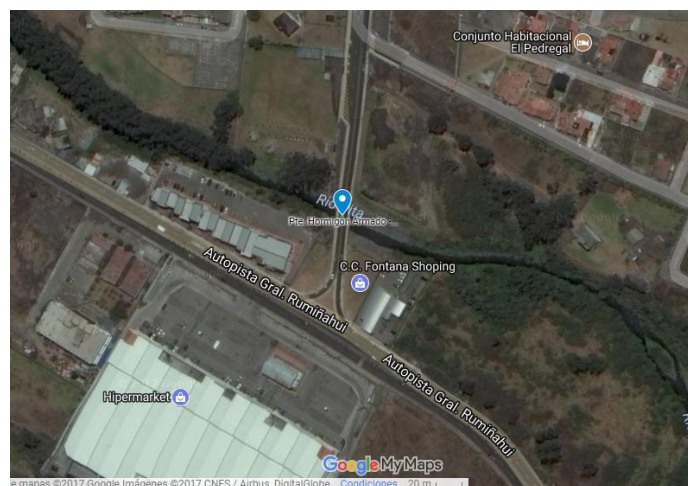


Figura 7. Ubicación Puente Pasaje Zamora.

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 8. Puente Pasaje Zamora.

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

PUENTES SOBRE EL RÍO SAN PEDRO

- Puente de mampostería de ladrillo de arcilla cocida, La Concordia. Sector San Pedro

Tabla 5. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de mampostería de ladrillo, La Concordia

PUENTE DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
782894.9814	9966316.1	17	32	6.37

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

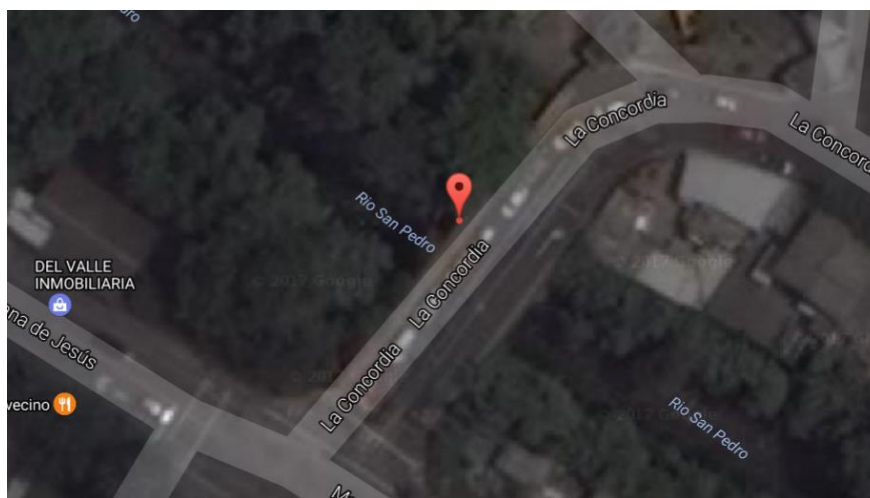


Figura 9 Ubicación Puente de mampostería La Concordia.

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 10 Puente de mampostería La Concordia.

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

- Puente de hormigón armado, Calle La Concordia.(Ampliación). Sector San Pedro.

Tabla 6. Coordenadas, zona y dimensionamiento del puente de hormigón armado, Calle La Concordia (Ampliación)

PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO				
COORDENADAS UTM			DIMENSIONES	
LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ZONA	LUZ (m)	ANCHO (m)
782894.9814	9966316.1	17	32	5.10

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

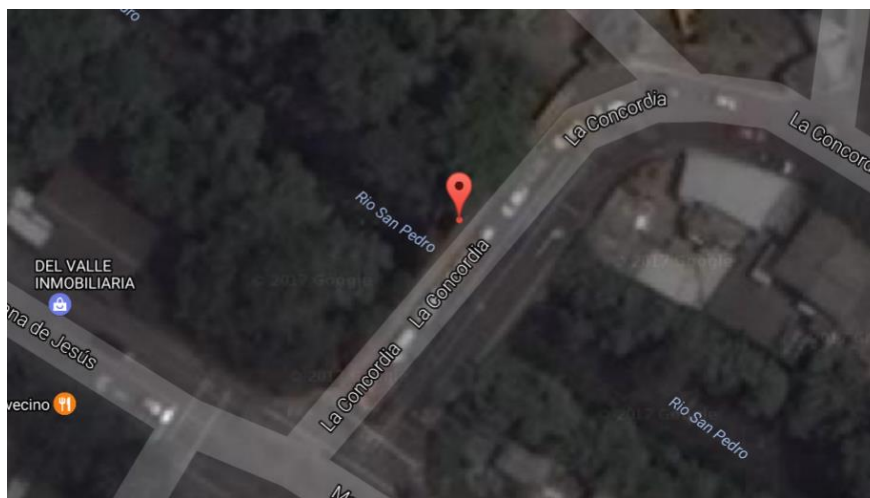


Figura 11 Ubicación Puente La Concordia (Ampliación).

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 12 Puente La Concordia (Ampliación).

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

2.4 Justificación

El siguiente estudio se realiza ante la necesidad de definir los posibles daños que sufrirán los 6 puentes que atraviesan los ríos Pita, San Pedro y Santa Clara, ubicados en el cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha; y cómo repercutirán estos efectos tanto en la estructura como en el medio social de sus alrededores, esto con el fin de advertir a la población el nivel de riesgo que existe ante desastres naturales, y como información que puede ser tomada por las autoridades y/o instituciones para generar acciones oportunas, de la misma manera evaluar su capacidad de carga.

Ya que Ecuador es una zona propensa a sismos, este fenómeno natural también será analizado en su impacto a las estructuras, de la misma manera la evaluación respecto a cargas viene dada por el cambio de normas usadas desde años anteriores a la actualidad en cuanto a lo que rige en el diseño de los puentes y su capacidad; dando como posible resultado la recomendación de un reforzamiento a aquellos puentes construidos en años donde las normas no se controlaban como hoy en día.

CAPITULO III

3. Marco Teórico

En el desarrollo de este trabajo de disertación que tiene como tema la evaluación técnica visual de puentes ante fenómenos naturales y evaluación ante cargas, es fundamental tener claros varios conceptos, teorías y definiciones que serán utilizadas a lo largo de la investigación.

Es necesario usar términos que faciliten de manera general, el entendimiento del tema tratado.

3.1 Conceptos Generales de Fenómenos Naturales

- Fenómeno natural: es un cambio de la naturaleza que sucede por sí solo. Es importante saber que son daños de la naturaleza que suceden cuando se ha realizado una ocupación no adecuada del territorio. Son los procesos permanentes de movimientos y de transformaciones que sufre la naturaleza. Estos pueden influir en la vida humana (epidemias, condiciones climáticas, desastres naturales, etc). (Halla, 2012)
- Desastre natural: Se refiere a pérdidas de vidas y materiales provocadas por fenómenos como las inundaciones, los terremotos, los maremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas, deforestación, contaminación ambiental y otros.

Son fenómenos naturales que provocan daños y destrucción de múltiples maneras, sumándose a la acción directa o indirecta del ser humano. (Pino, 2011). En el libro Riesgos y Desastres, el termino desastre natural se aplica a todos aquellos eventos inesperados que rebasan la capacidad de respuesta de una sociedad determinada, entonces es bastante lógico pensar que en la medida en que se conozcan las características, períodos de ocurrencia y alcances de dichos eventos, se podrá ir desplazando a nuestro favor la línea que limita la capacidad de respuesta. (Clarke, 2006)

- Riesgo: Un riesgo natural se puede definir como la probabilidad de que un territorio y la sociedad que habita en él, se vean afectados por episodios naturales de rango extraordinario. (Bratti, 2015). En el libro Riesgos y Desastres, el término riesgo se define como: “daños esperados, normalmente expresados en cantidades monetarias, producto de un evento destructivo”, por lo que es necesario conocer la vulnerabilidad y la amenaza relacionadas. Se debe aclarar que este concepto se aplica especialmente a aquellos daños ocasionados a elementos físicos (infraestructura, zonas de cultivo, etc.), ya que seguramente aún no se llega al extremo de cuantificar el costo de una vida humana. (Clarke, 2006)
- Amenaza: Corresponde a un peligro originado por un evento natural, social o tecnológico que dada su condición inestable puede activarse en cualquier momento afectando a la comunidad. (Patterson Casanova, 1993)

- Amenazas socio-naturales: Son aquellas que se expresan a través de fenómenos que parecen ser productos de la dinámica de la naturaleza, pero que en su ocurrencia o en la agudización de sus efectos, interviene la acción humana. (LaBastille, 2015)
- Amenazas antrópicas: La amenaza antrópica, un tipo de amenaza, es aquel peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprende una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua etc. (Anónimo, 2012)
- Vulnerabilidad: El libro de Patterson Casanova; Referencias conceptuales en el abordaje de los desastres naturales; plantea que la vulnerabilidad implica componentes y factores interrelacionados como localización de la población, edades, niveles económicos, divisiones sociales, culturales e integración política. Asimismo, aspectos de organización asumidos por la comunidad con respecto al ambiente. (Patterson Casanova, 1993)

Se presentan a continuación varias definiciones de tipos de vulnerabilidad que son útiles en el desarrollo de la presente disertación.

- Vulnerabilidad Física: Tiene que ver con la ubicación de las viviendas de la población, en áreas de peligro como llanuras de inundación de los ríos, laderas

inestables, faldas de los volcanes y cuyas viviendas están propensas a sufrir daños.

- Vulnerabilidad Social: Trata sobre la falta de organización e integración de la comunidad ante un desastre
- Vulnerabilidad Educativa: Se refiere al desconocimiento de la población de los peligros existentes en el medio donde habita, así como la forma de manejar una situación de riesgo o desastre.
- Vulnerabilidad Técnica: Son las técnicas empleadas en la construcción de infraestructura en las áreas de riesgo.
- Vulnerabilidad Ideológica: Se refiere a la percepción que tiene el individuo del medio en que vive y que generalmente al subestimar el riesgo aumenta así su vulnerabilidad. (Patterson Casanova, 1993)
- Erupción volcánica: Un volcán es una estructura por la que salen roca fundida, gases y otros materiales del interior de la Tierra. Una erupción volcánica es la expulsión del material procedente de la Tierra. Puede ser violenta o relativamente tranquila. Ahora bien, una erupción volcánica es un fenómeno natural que puede convertirse en un desastre cuando el volcán se encuentra cerca de una población humana. (Riesgo, 2012)

El proceso eruptivo de un volcán se inicia con la existencia, por debajo de la superficie de la Tierra, de una cámara magmática en la cual existe roca fundida debido a la presencia de altas temperaturas y presiones. Esta roca fundida recibe el nombre de magma y que debido a su baja densidad asciende a la superficie a

través de un conducto conocido como chimenea para luego ser expulsado por el cráter y que al fluir por la superficie recibe el nombre de lava. En general, el magma está formado por rocas de la litósfera (Corteza y Manto Superior) que al ser sometido a temperaturas del orden de 700-1200°C se funde parcialmente. Las características generales de este proceso han permitido identificar y conocer la estructura de un volcán, así como clasificarlos de acuerdo a su forma, tipo de erupciones y materiales que expulsan.

Los volcanes están formados por las siguientes partes:

- **Cámara Magmática:** La cámara magmática es la zona donde se produce y almacena el magma (roca fundida) del volcán y que posteriormente es expulsado a la superficie y donde recibe el nombre de lava. La cámara magmática se comunica con el cráter del volcán a través de un conducto conocido como chimenea.
- **Chimenea:** Es el conducto por donde asciende el magma hasta llegar al cráter. Durante su ascenso, el magma puede arrancar rocas de las paredes de la chimenea e incorporarlos a la corriente ascendente para luego ser expulsados a la superficie.
- **Cráter:** El cráter es el lugar por donde el volcán expulsa los materiales volcánicos (lavas, gases, vapores, cenizas, etc) durante una erupción. Generalmente, el cráter puede presentar la forma de un embudo o cono invertido.

- **Cono Volcánico:** El cono volcánico se forma por el conjunto de materiales volcánicos expulsados y que posteriormente caen alrededor del cráter del volcán. Dependiendo de la intensidad de las erupciones, el cono volcánico puede crecer considerablemente y las explosiones eruptivas intensas podrían generar fracturas en dicho cono originando nuevos cráteres en los extremos del volcán. La comunicación con la chimenea principal se realiza mediante otras chimeneas secundarias. (Castillo Cabrera, 2012)

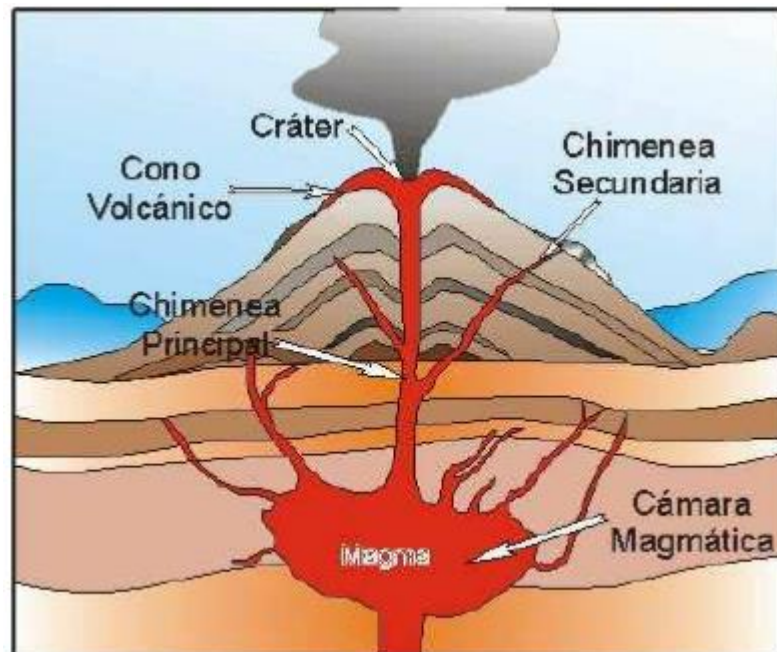


Figura 13. Elementos de un volcán.
Fuente: (Castillo Cabrera, 2012)

- **Lahares:** Los lahares son mezclas de detritos rocosos movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes. Sus propiedades físicas están controladas por el tamaño de los detritos y el contenido

de agua. Las velocidades de lahares históricos varían ampliamente debido a diferencias en las dimensiones de los canales. (Riesgo, 2012)

- Sismo: Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas (corteza y manto). (Riesgo, 2012) mismos que pueden causar otros desastres naturales como: tsunamis, incendios, deslizamientos, avalanchas e inundaciones.

Los sismos son movimientos de la tierra que se generan por la liberación de la energía que se mantiene almacenada por mucho tiempo en la corteza terrestre. Estos movimientos tienden a durar desde fracciones de segundo hasta dos minutos, durante este tiempo pasa todas las ondas sísmicas que se producen en diversas direcciones provocando así movimientos de tierra tanto horizontal como vertical. (Equipo de redaccion, 2016)

Dentro de la definición de sismo es sumamente importante detallar los tipos de fallas geológicas existentes, ya que son el movimiento de ellas por la energía acumulada en su interior es la que da origen a los sismos producidos. Podemos mencionar tres tipos básicos de fallas que se encuentran y son:

- Normal: Este tipo de falla se caracteriza porque uno de sus bloques cae bajo la acción de la gravedad y de las fuerzas de extensión que actúan en la corteza. Las fuerzas tectónicas actúan dilatando o expandiendo el medio en forma perpendicular a la falla. ((INII), 2011)

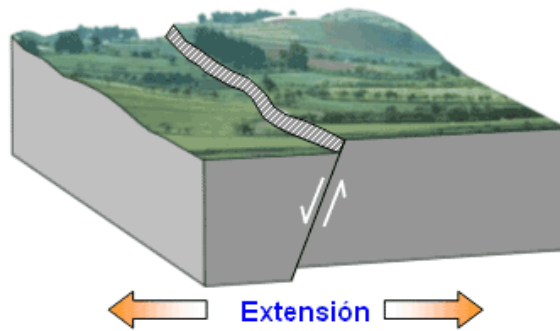


Figura 14. Falla normal.
Fuente: ((INII), 2011)

- Inversa: Este tipo de fallamiento se caracteriza porque uno de sus bloques es empujado hacia arriba producto de las fuerzas de compresión que actúan en la corteza. Las fuerzas tectónicas actúan comprimiendo el medio y en forma perpendicular a la falla. ((INII), 2011)

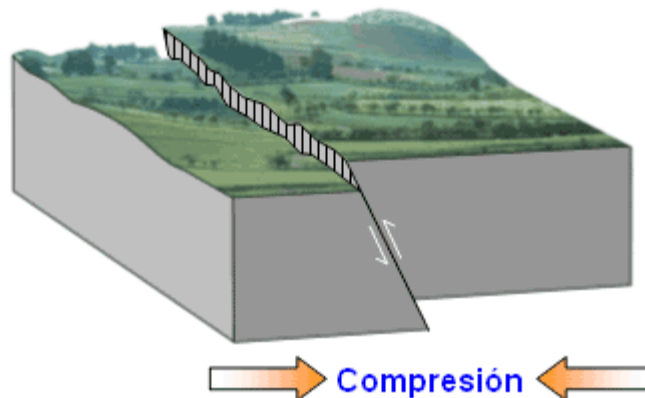


Figura 15. Falla inversa.
Fuente: ((INII), 2011)

- Longitudinal: Este es el tipo de fallamiento que se produce cuando las fuerzas tectónicas actúan en dirección opuesta a ambos lados de la falla

pero en forma paralela a ésta. Como consecuencia, los bloques son desplazados horizontalmente. ((INII), 2011)

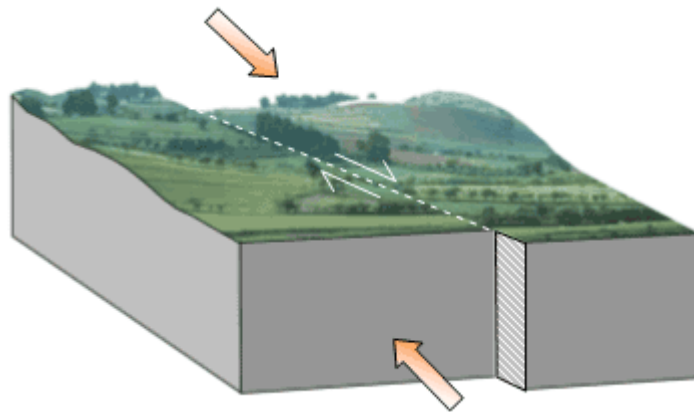


Figura 16. Falla longitudinal.
Fuente: ((INII), 2011)

- **DESLIZAMIENTO:** Es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor. (Riesgo, 2012)
- **INUNDACION:** Fenómeno natural que se presenta cuando el agua sube mucho su nivel en los ríos, lagunas, lagos y mar; entonces, cubre o llena zonas de tierra que normalmente son secas. (Riesgo, 2012)

3.2 Conceptos Generales de Puentes

En esta sección se expone de forma más detallada la información sobre puentes como es su definición, clasificación y elementos que los conforman.

Con el fin de obtener una mejor comprensión del tema de disertación en progreso.

3.2.1 Definición

El término puente se utiliza para designar a aquellas construcciones que son utilizadas para conectar diferentes espacios a los que de otra manera no se podría tener acceso. A través de los tiempos, el diseño y la ingeniería de los puentes ha variado en gran manera, así como también el material con el que se construye y la utilidad, siendo algunos de ellos meramente decorativos. (DefiniciónABC)

3.2.2 Clasificación

3.2.2.1 Según el material empleado

Mampostería: Estos puentes están contruidos con materiales como la piedra, los ladrillos y el hormigón, con los que se construyen estructuras arquitectónicas como el arco y la bóveda que soportan bien las fuerzas de compresión. (Geocities, 2009)

Madera: Aunque son rápidos de construir y de bajo coste, son poco resistentes y duraderos, ya que son muy sensibles a los agentes atmosféricos, como la lluvia y el viento, por lo que requieren un mantenimiento continuado y costoso. Su bajo coste

(debido a la abundancia de madera, sobre todo en la antigüedad) y la facilidad para labrar la madera pueden explicar que los primeros puentes construidos fueran de madera. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

Piedra: Son tremendamente resistentes, compactos y duraderos, aunque en la actualidad su construcción es muy costosa. Los cuidados necesarios para su mantenimiento son escasos, ya que resisten muy bien los agentes climáticos. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

Hormigón Armado: Son de montaje rápido, ya que admiten en muchas ocasiones elementos prefabricados, son resistentes, permiten superar luces mayores que los puentes de piedra, aunque menores que los de hierro, y tienen unos gastos de mantenimiento muy escasos, ya que son muy resistentes a la acción de los agentes atmosféricos. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

Hormigón Pretensado: Su armadura es activa, es decir se temple previamente a la actuación de las cargas que va a recibir la estructura (peso propio, carga muerta y cargas de tráfico), comprimiendo el hormigón de forma que nunca tenga tracciones o que éstas tengan un valor reducido. (Villarino)

Acero: Son muy versátiles, permiten diseños de grandes luces, se construyen con rapidez, pero son caros de construir y además están sometidos a la acción corrosiva, tanto de los agentes atmosféricos como de los gases y humos de las fábricas y ciudades, lo que supone un mantenimiento caro. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

Compuestos: Puentes conformados por materiales compuestos (fibras de vidrio, de carbono y de polímeros orgánicos) o una combinación de ellos. (Villalobos & Cardoza, 2005)

3.2.2.2 Según la función que realizan

Acueductos: Entendemos por acueducto a aquellas construcciones que tienen por objetivo principal la conducción del agua desde un punto hasta otro para permitir que personas o comunidades tengan acceso a ella. (DefiniciónABC)

Viaductos: Puentes construidos sobre terreno seco o en un valle y formados por un conjunto de tramos cortos, permitiendo el paso de peatones o de vehículos. (Miliarium, 2008)

Pasarelas: Puente utilizado para el cruce de peatones.

3.2.2.3 Según el sistema estructural

Isostáticos: Aquellos cuyos tableros son estáticamente independientes uno de otro y, a su vez, independientes, desde el punto de vista de flexión, de los apoyos que lo sostienen. (Miliarium, 2008)

Hiperestáticos: Aquellos cuyos tableros son dependientes uno de otro desde el punto de vista estático, pudiendo establecerse o no una dependencia entre los tableros y sus apoyos. (Miliarium, 2008)

3.2.2.4 Según su tipología estructural

En arco: Están constituidos básicamente por una sección curvada hacia arriba que se apoya en unos soportes o estribos y que abarca una luz o espacio vacío. La sección curvada del puente está siempre sometida a esfuerzos de compresión, igual que los soportes, tanto del arco como los auxiliares que sustentan el tablero. Los tirantes soportan esfuerzos de tracción. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

En ménsula: Es un puente en el cual una o más vigas principales trabajan como ménsula o voladizo. Normalmente, las grandes estructuras se construyen por la técnica de volados sucesivos, mediante ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de la ménsula previa. (Jove, 2014)

En vigas: Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares. Mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, éstos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, las vigas o elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. (Los Puentes. Clasificación, s.f.)

Colgantes: Constan de un tablero suspendido en el aire por dos grandes cables, que forman sendas catenarias, apoyadas en unas torres construidas sobre las pilas. El tablero puede estar unido al cable por medio de péndolas o de una viga de celosía. (Miliarium, 2008)

Atirantados: Aquellos cuyo tablero está suspendido de uno o varios pilones centrales mediante obenques. Se distingue de los puentes colgantes porque en éstos los cables

principales se disponen de pila a pila, sosteniendo el tablero mediante cables secundarios verticales, y porque los puentes colgantes trabajan principalmente a tracción, y los atirantados tienen partes que trabajan a tracción y otras a compresión. (Jove, 2014)

3.2.2.5 Según el anclaje

Puentes fijos: Aparecen anclados de forma permanente en las pilas. Dentro de este tipo están los puentes de placas, cuya armadura es una plancha de hormigón armado o pretensado que salva la distancia entre las pilas. Es una construcción bastante usual en las autopistas. (Miliarium, 2008)

Puentes móviles: Pueden desplazarse en parte para dar paso a embarcaciones. (Miliarium, 2008)

Puentes de pontones: Apoyados sobre soportes flotantes, generalmente móviles, y se usan poco. (Miliarium, 2008)

3.2.3 Elementos Que Los Constituyen

En términos generales los puentes están formados fundamentalmente de dos partes: la superestructura y la infraestructura o subestructura.

3.2.3.1 Superestructura

La superestructura está constituida por todos los elementos del puente que están por encima de los apoyos, como son: losa de calzada, vigas longitudinales y transversales, aceras y pasamanos, capa de rodadura, iluminación y señalamiento, sistema de drenaje, diafragmas, voladizos, bordillos.

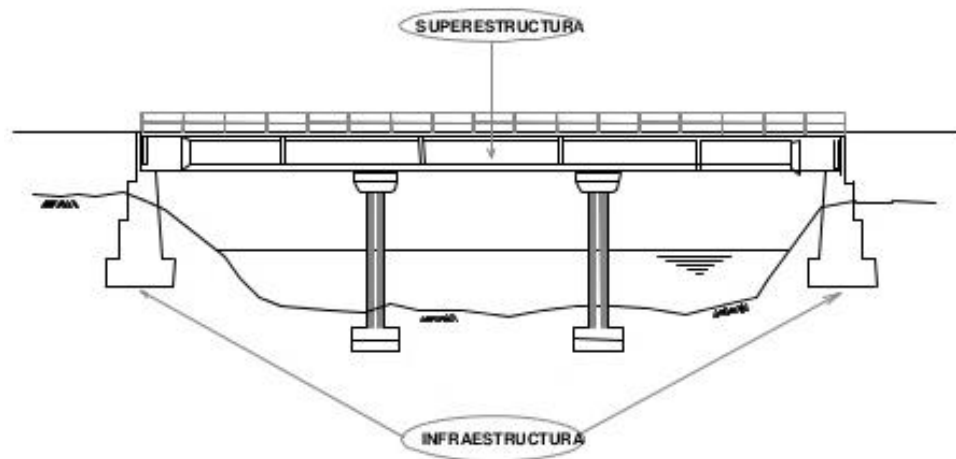


Figura 17. Esquema de superestructura y subestructura de un puente.
Fuente: (Carrera, 2014)

3.2.3.2 Subestructura

La subestructura o también llamada infraestructura es la parte del puente que es la encargada de apoyar la superestructura y transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación. Los elementos que conforman la subestructura son: estribos, pilas, muros laterales, aparatos de apoyo que pueden ser fijos o móviles, losas de acceso.

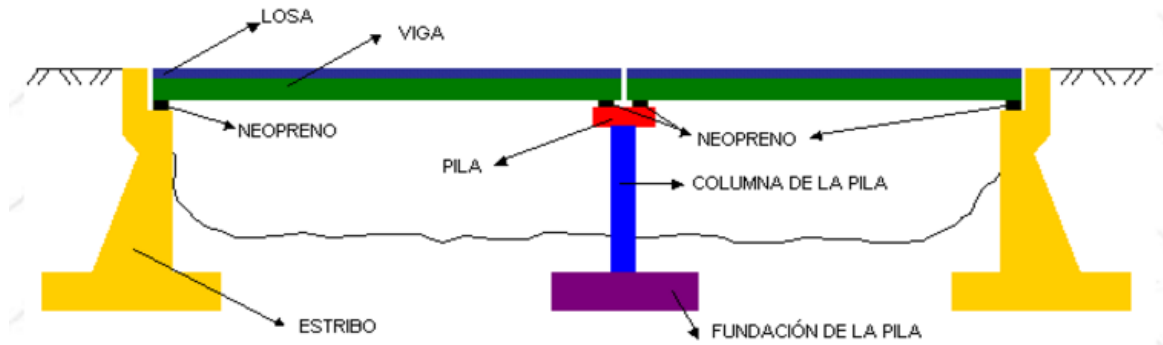


Figura 18. Esquema de los elementos que conforman la superestructura y subestructura.
Fuente: (Miliarium, 2008)

Estribos: estructura situada en los extremos del puente que sostienen los terraplenes que conducen al puente. Además de recibir el peso de la superestructura, reciben el empuje de las tierras trabajando como muro de contención. Los estribos están compuestos por un muro frontal que soporta el tablero y muros aletas que sirven para la contención del terreno.

Pilas: son los apoyos intermedios de los puentes. Diseñados para soportar la carga permanente y sobrecarga sin asentos.

Vano: cada uno de los espacios de un puente comprendida entre dos apoyos consecutivos.

3.3 Área de Estudio

Para la aplicación de la evaluación técnica – visual de puentes, se determina el área que comprende la zona de estudio, misma que abarca los puentes en análisis. Es así, que el

área comprende los cauces del río Pita, río Santa Clara y río San Pedro, dentro de la zona del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, donde está concentrado este estudio.

El cantón Rumiñahui es uno de los ocho cantones del Distrito Metropolitano de Quito, ubicado al sur de la provincia de Pichincha; con un área cantonal de 134,15 km², representa el 1% de la superficie total de la provincia. Sangolquí es su cabecera cantonal, la misma que se encuentra a 2 550 metros sobre el nivel del mar.



Figura 19. Mapa político de Pichincha.
Fuente: (Capa, 2017)

Cuenta con 5 parroquias; 3 de ellas urbanas que son: Sangolquí, San Pedro de Taboada, San Rafael; y 2 parroquias rurales que son: Cotogchoa y Rumipamba

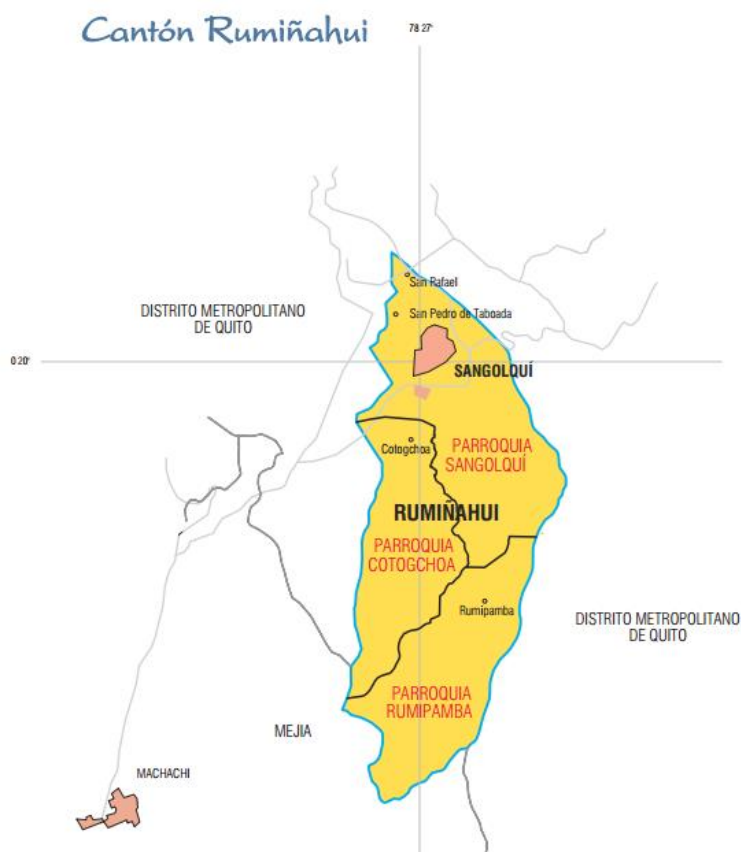


Figura 20. Mapa de las parroquias del Cantón Rumiñahui.
Fuente: (MSPO, 2014)

Según los datos que refleja la pagina web del Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos, la poblacion del canton Rumiñahui en el último censo efectuado en el año 2010 es de 85 852 habitantes.

Se encuentra limitado de la siguiente manera; al norte por el Distrito Metropolitano de Quito y el río San Pedro; al sur por el cantón Mejía y el cerro Pasochoa; al este con el Distrito Metropolitano de Quito y las parroquias rurales de Alangasí y Pintag; y al oeste con el Distrito Metropolitano de Quito y las parroquias rurales de Amaguaña y Conocoto.

3.3.1 Delimitación

Habiendo hablado del cantón Rumiñahui como zona de estudio, nos concentraremos en las zonas por donde pasan los ríos San Pedro, Santa Clara y Pita; por los cuales avanzarían los lahares después de una erupción del volcán Cotopaxi.

Como se muestra a continuación, los lahares producidos en una erupción del volcán se encuentran de color plomo, y como se muestra, atraviesan todo el cantón Rumiñahui, especialmente zonas importantes de su cabecera cantonal, Sangolquí.

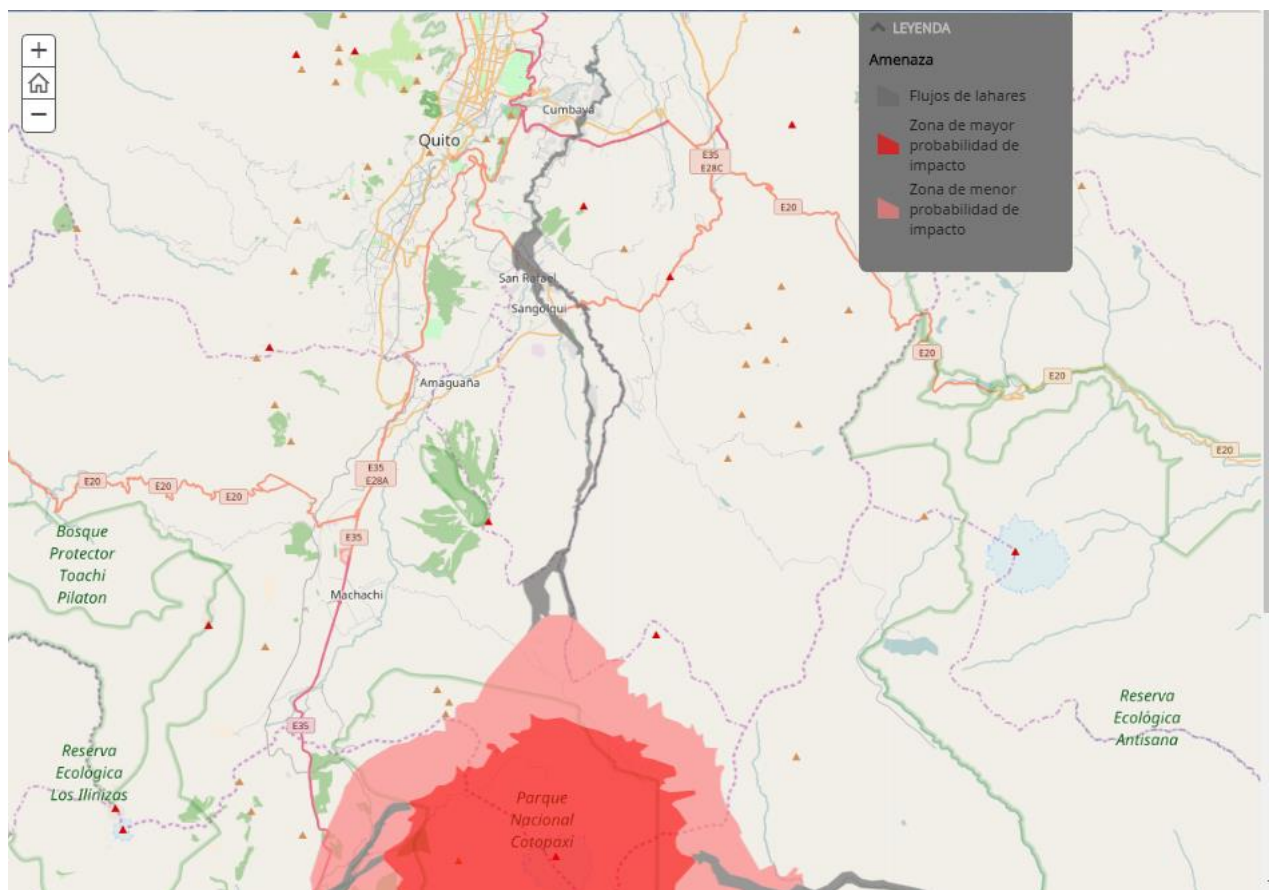


Figura 21. Mapa de afectación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi.
Fuente: (Geofísico, 2016)

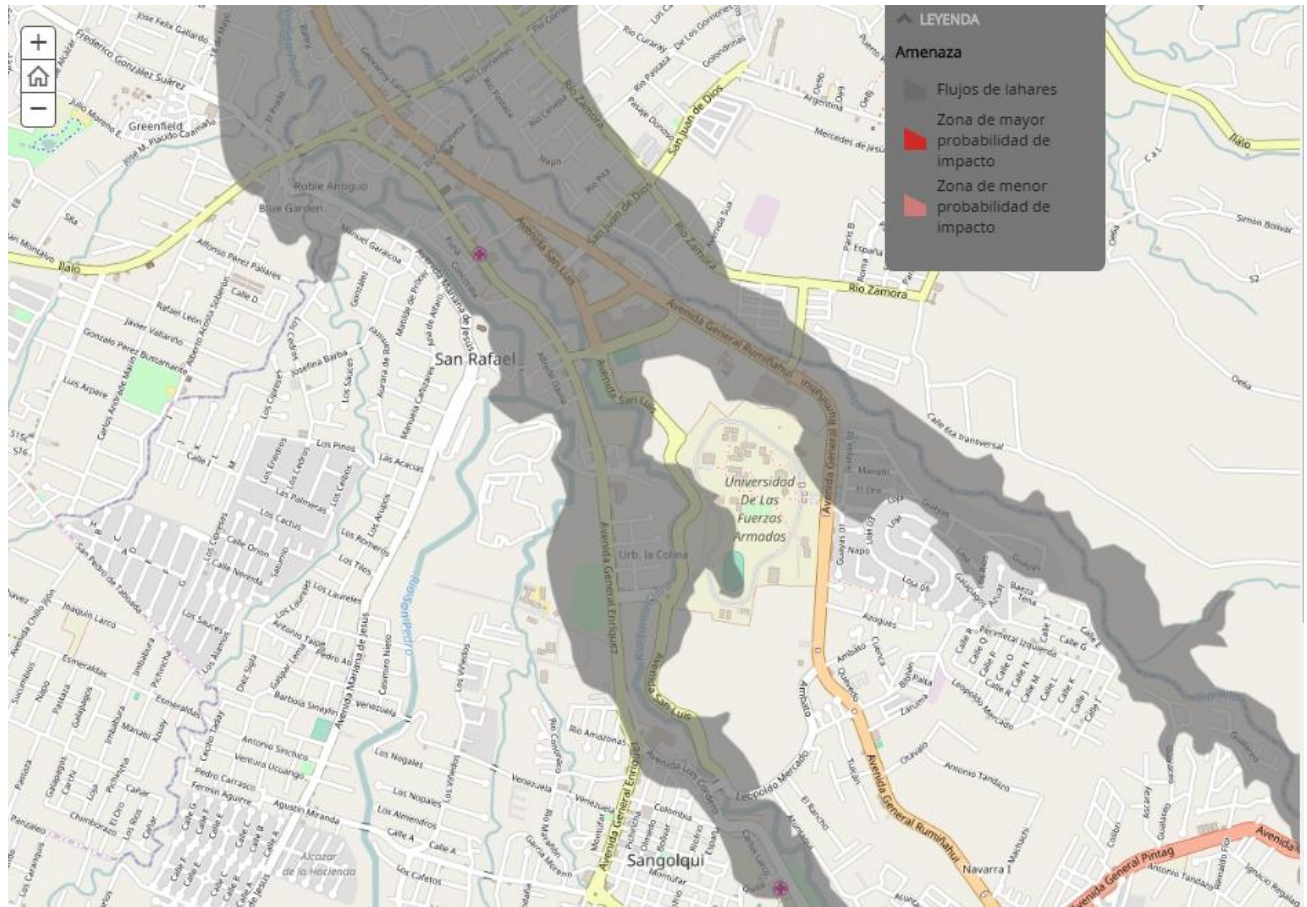


Figura 22. Mapa de afectación ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, concentrado en el área de estudio.

Fuente: (Geofísico, 2016)

En la siguiente figura se aprecia la ubicación de los 6 puentes considerados en este estudio, mismos que refiriéndonos al mapa de posible afectación por lahares, todos los puentes en cuestión tendrían un grado de afectación importante. Razón por la cual el estudio se concentró en dichos puentes, para así encontrar su grado de vulnerabilidad ante la posible erupción del volcán Cotopaxi y por ende prevenir daños de alguna manera.

Los puentes estudiados se concentran específicamente en las zonas de Sangolquí, San Rafael y El Triángulo, sectores pertenecientes al Cantón Rumiñahui y donde se encuentra concentrada la mayor parte de habitantes del Cantón, razón por la que una evaluación de vulnerabilidad se vuelve muy oportuna para prever planes de contingencia o evacuación ante la posibilidad de un desastre natural.

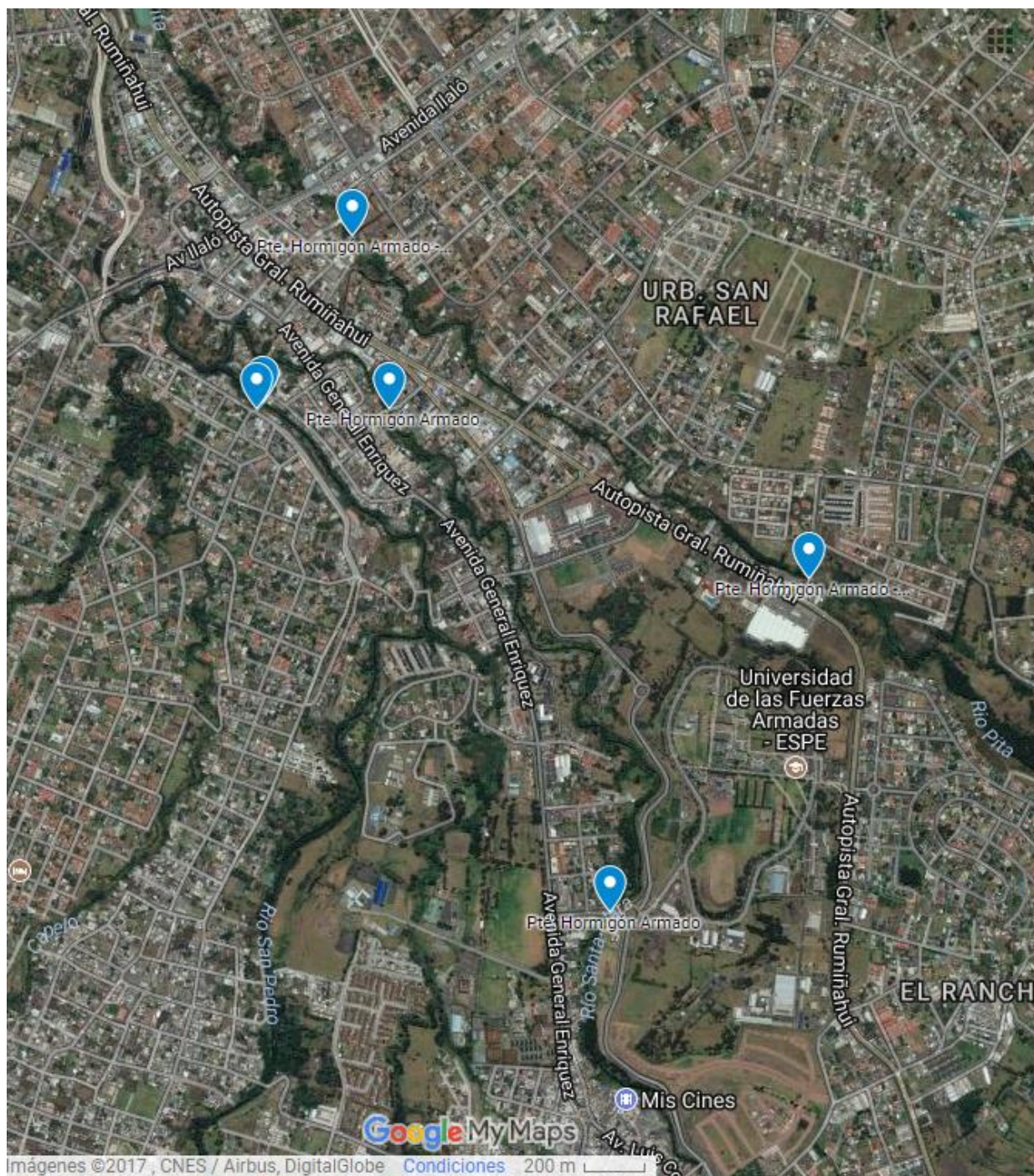


Figura 23. Ubicación de los 6 puentes a ser evaluados.
Fuente: (Google Earth, 2016)

3.3.2 Río Pita, Santa Clara y San Pedro

El sistema fluvial que se analizará en la presente disertación es el Pita-Guayllabamba-Esmeraldas que fluye hacia el norte por el valle interandino que cruza asentamientos como Sangolquí, San Rafael y Tumbaco mismos que se encuentran cerca de los ríos Pita, Santa Clara y San Pedro.

La red hidrográfica del Valle de los Chillos está comprendida por tres ríos principales: el San Pedro que nace al suroeste de la hoya del río Guayllabamba en la división del cauce de la zona denominada la Caldera, luego atraviesa el valle de Machachi y llega a los Chillos, donde cerca de Sangolquí recibe pequeños afluentes como el río San Miguel y Cachaco.

Aguas abajo, en la zona cercana al Triángulo, se le une el río Santa Clara proveniente de los deshielos glaciares del volcán Cotopaxi y, casi al pie del cerro Ilaló, se une con el río Pita que nace en los páramos de las estribaciones del Cotopaxi, Sincholagua y Rumiñahui, y atraviesa todo el valle. **Fuente especificada no válida..** El río Pita tiene sus nacimientos en la zona nor-oriental del Cotopaxi, en el callejón interandino del sur de la Provincia de Pichincha en la vertiente del Guayllabamba.

En la Figura 24 se muestra un esquema gráfico de los sistemas fluviales que se alimentan del deshielo de los glaciares provenientes del volcán Cotopaxi.

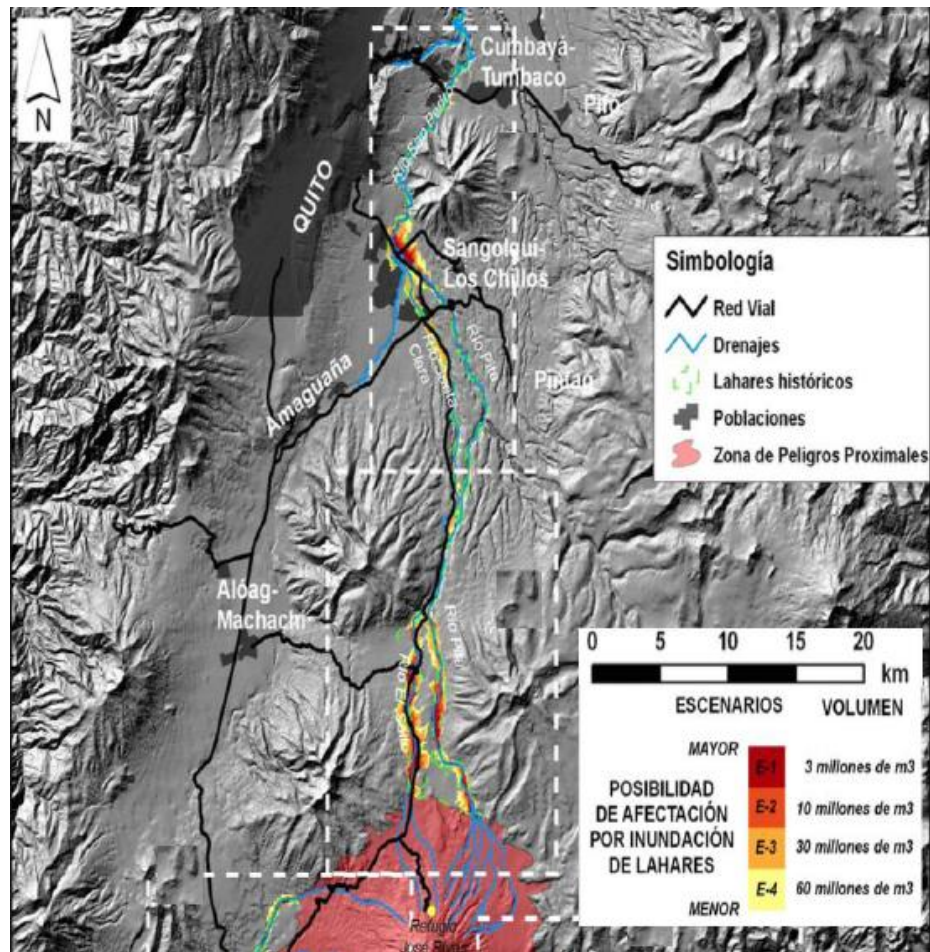


Figura 24. Esquema gráfico de los sistemas fluviales que se alimentan del deshielo de los glaciares provenientes del volcán Cotopaxi.

Fuente: (IG-EPN, 2013)

3.3.3 Geología Local

La zona estudiada tiene una distribución areal de las diferentes Formaciones geológicas del Cuaternario hasta una profundidad aproximada de los 1000.0 metros que han sido reconocidas en superficie según el Mapa Geológico del Ecuador a escala 1 : 50 000 edición 1- 1980.

El corte en sentido vertical incluye de abajo hacia arriba las siguientes formaciones por orden cronológico:

FM. GUAYLLABAMBA

Su litología comprende una secuencia aluvial estratificada compuesta por bloques sub redondeados cuyos tamaños varían de centimétricos a métricos, además de presencia de flujos de lodo y volcánicos primarios (flujos de lava, flujos piroclásticos y avalanchas. El espesor varía de 50 a 400 m.

FM. CHICHE

Está compuesta de conglomerados con niveles arenosos y areniscas gruesas interestratificadas con tobas, esta formación incluye varias facies sedimentarias, distribuidas geográficamente. Debemos tomar en cuenta que algunos miembros de esta formación son diacrónicos, por ejemplo mientras hacia el sur se depositaba el Mb. Chiche hacia el norte se depositaba el Mb. Fluvio-Lacustre II, quedando posteriormente detenida la sedimentación lacustre al norte por la llegada del Mb. Chiche (Villagómez, 2003), además encontramos diatomitas, grawaca y obsidiana, ésta formación se presenta en miembros Fluvio – Lacustre I, Mb. Láhar, Mb. Fluvio Lacustre II

FM. CANGAHUA

Su litología consiste de tobas alteradas, de color café parduzco de origen eólico, intercalada con caídas de ceniza, pómez, paleosuelos y a veces flujos de lodos y canales aluviales. Su espesor es variable, mayor hacia las depresiones, valles y planicies (50 m),

que hacia los altos (20 - 30 m). Además, se sugiere un ambiente seco tipo estepa durante su depositación.

DEPOSITOS LAHARITICOS

Los depósitos laharíticos comprenden bloques, cantos rodados mezclados en matriz tobácea sin estratificación. Los lahares aflorantes en Sangolquí son producto de la actividad eruptiva del volcán Cotopaxi, los volcanes Rumiñahui, Sincholagua y Pasochoa han estado extinguidos por mucho tiempo (Hall, 1977, en Villagómez 2003), por lo cual la evidencia de sedimentos de estos volcanes ha sido erosionada o cubierta por depósitos de cangagua. Su espesor varía de 1.0 a 40.0 m.

TERRAZAS INDIFERENCIADAS

En el valle del río San Pedro, existen depósitos de grava y arena. Generalmente se encuentran bien clasificadas y estratificadas, compuestas de fragmentos de lava en una matriz areno-tobácea removidos y depositados. Al NE de Conocoto existen bloques de 2.0 a 3.0 m. de diámetro que se observan en las quebradas y en la superficie. Su espesor varía de 14.0 a 100.0 m.

DEPOSITOS ALUVIALES

Comprenden cantos y aglomerados de origen volcánico entre sedimentos medios y finos. Están relacionados con la evolución de los drenajes actuales, los valles de los ríos San Pedro y Machángara que se hallan hoy en día en proceso de formación.

3.3.4 Tipos de suelos

Tabla 7. Tipos de Suelos en la ubicación de cada puente estudiado

Rio	Nombre del Puente (Ubicación)	Tipo de Suelo	Observaciones
Pita	Puente Pasaje Zamora	Subsuelo está conformado por arenas limosas gruesas no plásticas y materiales aluviales hasta la profundidad de 6m	Sin nivel freático hasta profundidad estudiada.
	Puente calle Isla Genovesa	Aluviales finos y gruesos compuestos por arenas, limos, gravas y boleos	Material de relleno de 2 a 3m de profundidad.
Santa Clara	Puente Av. Yaguachi	Limos arenosos, arenas pobremente gradadas y gravas pobremente gradadas	Nivel freático a 1,60m de profundidad.
	Puente Isla Pinzón e Isla Santiago	Arena fina y media húmeda color gris, con granitos de pómez, gravilla y grava. Medianamente denso	Estratigrafía y capacidad del suelo uniformes, se califica como muy buena.
San Pedro	Puentes La Concordia (Mamposteria y Ampliación)	Subsuelo conformado por gravas	Nivel de Cimentacion diferente para ambos puentes pero sin problemas

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

3.3.5 Zona Sísmica

De acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción del año 2015, los puentes en estudio se encuentran ubicados en la Zona Sísmica V, que nos da un valor del factor $Z=0.40$.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
SANGOLQUI	SANGOLQUI	RUMIÑAHUI	PICHINCHA	0.40

Figura 25. Poblaciones ecuatorianas y valor de factor Z asignado a cada una.
Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

Teniendo en cuenta la tabla de valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada, encontramos que la zona en estudio tiene una caracterización de peligro sísmico alto.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Figura 26. Caracterización de Peligro Sísmico para el valor de factor Z adoptado.
Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

3.4 Amenazas

Se describe las amenazas a las que está expuesto el Cantón Rumiñahui, que en la presente disertación es el área de estudio de las seis estructuras a evaluar.

Amenazas provocadas a causa de una erupción volcánica o un evento sísmico que afectarían potencialmente las estructuras de los seis puentes que atraviesan los ríos Pita,

San Pedro y Santa Clara. El Valle de los Chillos ha sufrido anteriormente estos acontecimientos por lo que se detallará la ocurrencia de los más influyentes.

3.4.1 Amenazas Volcánicas

El Valle de los Chillos al estar ubicado en la cuenca hidrográfica de Guayllabamba al sur oriente de la ciudad de Quito, se encuentra rodeado de grandes elevaciones al norte delimita con el volcán inactivo “Ilaló”, al sur con los volcanes inactivos “Pasochoa” y “Sincholagua”, al este con el volcán “Antisana” y al oeste con las “Lomas de Puengasí”.

En la siguiente imagen se puede visualizar las elevaciones antes mencionadas que delimitan al Cantón Rumiñahui.

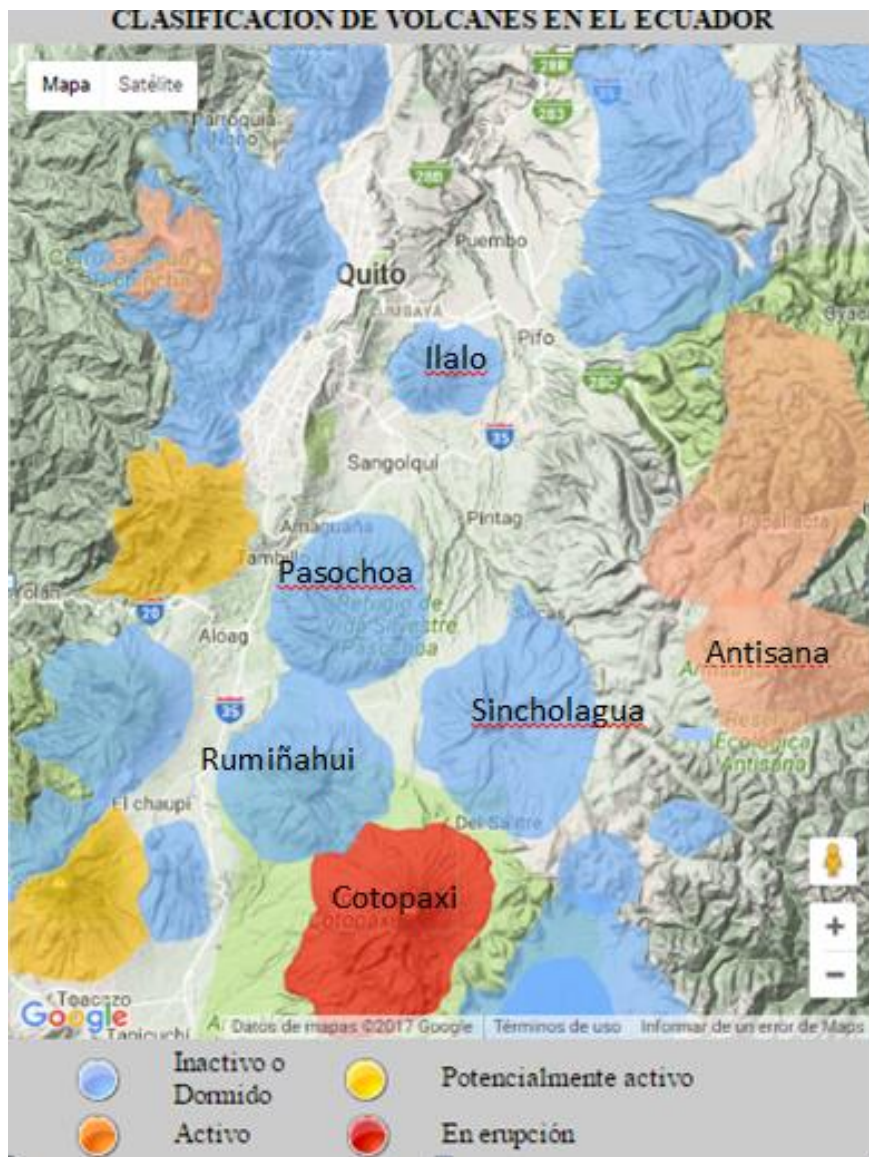


Figura 27. Mapa de ubicación de los volcanes que delimitan el Valle de los Chillos, además clasificación según su actividad volcánica, siendo extinto o dormido (última erupción hace más de 10 000 años), potencialmente activo (última erupción hace menos de 10 000 años), activo (última erupción hace más de 500 años) y en erupción (con actividad eruptiva en 2011-válido para 2016)

Fuente: (IG-EPN, Red de Observatorios Vulcanológicos, 2017)

En la Figura 28 se indica la morfología de la cuenca donde se encuentra ubicada el área de estudio.

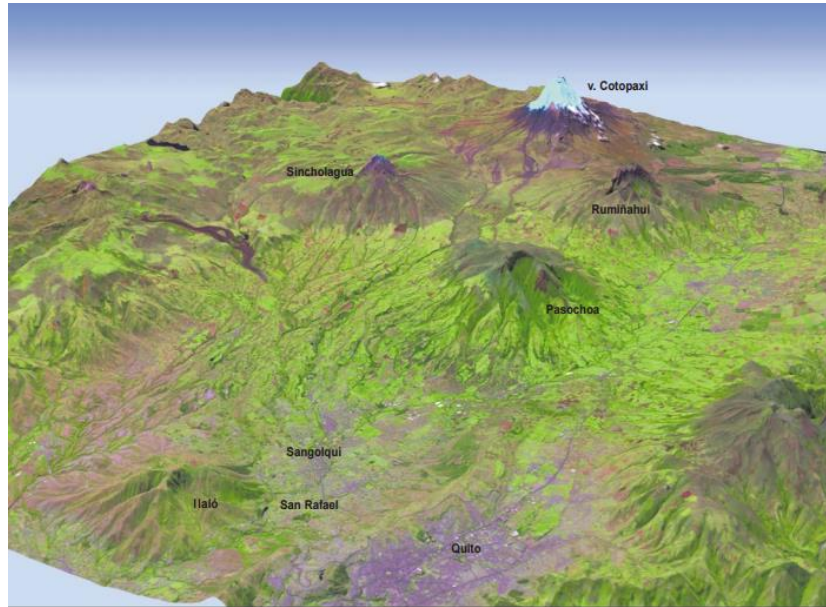


Figura 28. Modelo 3D en el que se aprecia la morfología de la cuenca norte del Volcán Cotopaxi.

Fuente: (Aguilera Ortiz & Toulkeridis, 2004)

Volcán Ilaló

El Ilaló es un volcán inactivo y altamente erosionado, situado en la cuenca del río San Pedro, afluente del río Guayllabamba, en el Cantón Quito. En las faldas de este monte, que está a 3161 m.s.n.m, se encuentra el valle de Tumbaco que es separado por esta elevación del valle de Los Chillos. (Tumbaco, 2016)

Está conformado por una sucesión de lomas que corren longitudinalmente desde la cima hasta la base, separadas por quebradas poco profundas que confluyen en el río Chiche, geológicamente el Ilaló está formado por cangagua producida a partir del material volcánico compuesta por depósitos de ceniza cementada la cual otorga permeabilidad a los suelos. (Tumbaco, 2016)

El estado actual del volcán Ilaló es inactivo, registrando su última erupción hace 1.6 millones de años.



Figura 29. Volcán Inactivo “Ilaló”
Fuente: (Chillos, 2011)

Volcán Pasochoa

El volcán Pasochoa está situado al noreste del Valle de Machachi en la parroquia de Uyumbicho, al sureste de la hoya de Guayllabamba, en la Cordillera Oriental y en posición adelantada respecto al nudo de Tiopullo. El Pasochoa alcanza una altura de 4199 m.s.n.m. (Volcán Pasochoa, 2017)

El Pasochoa es uno de los volcanes apagados (inactivos), que junto con el volcán Ilaló y el volcán Rumiñahui se agrupan a lo largo de la falla central de la depresión interandina, al sur de Quito. Su cima está compuesta por varios picachos agudos, desprovistos de nieve y cubiertos de vegetación. (Volcán Pasochoa, 2017)



Figura 30. Volcán inactivo “Pasochoa”

Fuente: (Pasochoa, 2017)

Volcán Antisana

El volcán Antisana es un gran estrato volcán compuesto, potencialmente activo, cubierto por glaciares y ubicado en la Cordillera Real del Ecuador, unos 50 Km al sureste de Quito. Su cumbre alcanza 5758 m.s.n.m. con un edificio basal de 13 Km de diámetro. Se reconocen dos edificios volcánicos en el Antisana: el Antisana I, que es un edificio viejo y erosionado ubicado en la parte oriental del complejo, y el Antisana II que representa el edificio joven potencialmente activo. (IG-EPN, Antisana, 2017)

El Antisana II habría experimentado una actividad eruptiva regular desde hace más de 1400 años, registrándose al menos 40 erupciones pequeñas a moderadas en este período de tiempo. Este tipo de actividad se habría detenido hace aproximadamente 1000 años o

al menos no se tiene un registro geológico claro de actividad más reciente. (IG-EPN, Antisana, 2017)

En este período histórico se presume que han ocurrido al menos 4 erupciones en los años: 1590, 1760, 1773 y 1802. Ésta última erupción fue de tipo lateral y ocurrió en la caldera de Muertepungo hace 300 años, conocida como “reventazón de Antisanilla” y es la que derramó la lava que se puede observar al subir a la laguna de la Mica. Tras las erupciones se formaron flujos de lava que eventualmente se solidificaron y dejaron huellas indelebles en el paisaje. (Ambiente, 2015)



Figura 31. Volcán “Antisana”
Fuente: (IG-EPN, Antisana, 2017)

De acuerdo a la clasificación eruptiva de los volcanes que delimitan el área de estudio, Valle de los Chillos, los volcanes antes mencionados no presentan amenaza por su

actividad volcánica. Por lo que se toma como amenaza principal al volcán Cotopaxi por su estado de actividad volcánica reciente.

Amenaza Del Volcán Cotopaxi

El Cotopaxi se encuentra sobre la Cordillera Oriental (Real) con una altitud de 5897 m.s.n.m, a una distancia de 35 Km al Noreste de Latacunga y de 45 Km al Sureste de Quito. Está rodeado por páramos que bordean los 3000 m.s.n.m y por otros volcanes como el Sincholagua, Quilindaña y Rumiñahui. (IG-EPN, Cotopaxi, 2017)

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN, Cotopaxi, 2017) el Cotopaxi es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve, su cobertura glaciaria y por la cantidad de poblaciones potencialmente expuestas a sus amenazas.

Desde el inicio de la conquista española, el Cotopaxi ha presentado cinco grandes periodos eruptivos: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880. Dentro de cierto rango, todos los episodios han dado lugar a fenómenos volcánicos muy peligrosos, y no hay duda de que episodios similares volverán a repetirse en el plazo de las décadas. (IG-EPN, Cotopaxi, 2017)

Por tratarse de un volcán activo con una edad geológica muy reciente, se debe conocer que una próxima erupción del Cotopaxi es un hecho naturalmente indefectible. Sin embargo, es imposible determinar la fecha exacta de ocurrencia debido a que la previsión de las erupciones se la puede concebir sólo estadísticamente. (Aguilera Ortiz & Toulkeridis, 2004)

Una actividad volcánica explosiva, de características similares a la de 1877, que se ha determinado como la máxima probable, originaría peligros volcánicos como: caída de cenizas, emisión de flujos piroclásticos y lahares, por la fusión del hielo glacial. (Aguilera Ortiz & Toulkeridis, 2004)

Los lahares en la historia eruptiva del volcán Cotopaxi han sido considerados como los fenómenos más destructivos de carácter recurrente, que se derivan de la actividad volcánica explosiva como flujos piroclásticos. Todos los drenajes naturales que nacen en el cono volcánico se convierten en rutas preferenciales para el recorrido de los lahares, convirtiéndose en zonas de afectación las cuencas hidrográficas del Esmeraldas en el norte (Sangolquí, San Rafael, Cumbayá, Guayllabamba), del Pastaza en el sur (Laso, Latacunga, Salcedo y Patate), y del Napo en el este (La Serena, Puerto Napo, Misahualli, El Ahuano). (Aguilera Ortiz & Toulkeridis, 2004)

La zona de estudio en la presente disertación corresponde a la cuenca norte, la misma que se inicia con los ríos Pita y El Salto, ambos ríos se juntan aproximadamente a 14 Km del volcán. En el sitio “La Caldera” por una condición morfológica particular una parte de los lahares que circulan por el río Pita desborda hacia el río Santa Clara, que descende desde las cercanías del Pasochoa. Los ríos Pita y Santa Clara confluyen en el río San Pedro incrementando el riesgo en el Valle de Los Chillos. (Aguilera Ortiz & Toulkeridis, 2004)

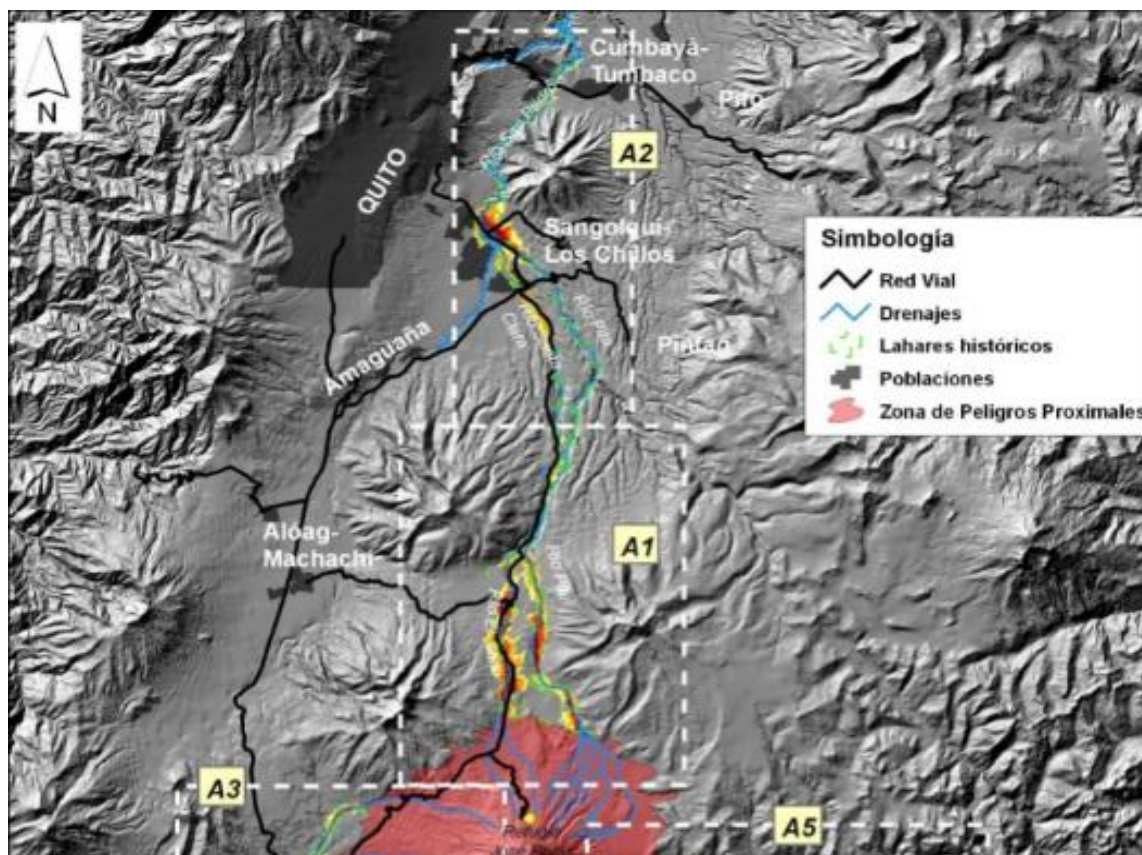


Figura 32. Zonas que serían potencialmente afectadas por inundaciones de lahares ante la posible erupción del volcán Cotopaxi.

Fuente: (Ordóñez, Samaniego, & Mothes, 2013)

La Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) ha realizado una investigación que simula el recorrido que tendrán los lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del programa HEC-RAS. Pretendiendo así demostrar el latente peligro en las zonas de San Rafael, Sangolquí y demás poblados ubicados a lo largo de la cuenca norte del volcán. (Carrillo, 2013)

HEC-RAS es un software para análisis hidráulicos, especializado en calcular alturas de inundación y desbordamiento. Para la simulación con el programa se han introducido

los datos de los ríos a estudiar, información otorgada por la Escuela Politécnica del Ejército. (Carrillo, 2013)

Tabla 8. Afectación de los lahares por el cauce del Río Santa Clara.

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Av. Yaguachi	Club de Oficiales	Bulevar	44,1	19600	0,09	4	Los flujos tienen una extensión de 300 y 200 m.	Parcialmente Inundado
Calle Isla Pinzón e Isla Santiago	San Rafael	Clínica San Rafael	44,1	19600	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 300 y 86 m.	Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Tabla 9. Afectación de los lahares por el cauce del Río San Pedro.

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle La Concordia	San Pedro	Iglesia "El Señor de los Puentes"	44,1	49000	0,09	5	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Tabla 10. Afectación de los lahares por el cauce del Río Pita.

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle Pastaza	El Progreso	Hyper Market	44,1	49000	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 500 y 300 m a cada lado del río.	Inundado
Calle Isla Genovesa	Playa Chica	Colegio "M.D.G"	44,1	49000	0,09	3,33	Los flujos tienen una extensión de 322 y 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

3.4.2 Amenazas Sísmicas

El Valle de los Chillos ha presentado varios eventos sísmicos debido a la estructura geológica conocida como la falla o sistema de fallas de Quito, que corre al Este de la ciudad a lo largo de las pendientes que miran hacia los Valles de Tumbaco y Los Chillos, colinas que marcan el borde oriental de la ciudad y que las conocemos como las lomas del Tablón frente a Amaguaña, Puengasí, Ilumbisí, El Batán, La Bota y Bellavista – Catequilla en el extremo Norte. (Yepes, 2014)

Los fenómenos sísmicos ocurridos en el área de estudio se deben a que el sistema de fallas de Quito, se trata de una falla inversa, es decir que uno de los bloques (el de Quito) se levanta respecto del otro (el de los Valles) en contra de la fuerza de gravedad producido por fuerzas de compresión tectónicas que empujan al continente Americano desde el Occidente. (Yepes, 2014) Este es un caso típico de fallas ocultas, por el mismo motivo muestran actividad sísmica constante en el tiempo afectando históricamente a Quito por sismos de gran magnitud como son los de 1541, 1587, 1755, 1797, 1859 y 1868 con un sismo de 8.8 grados en la escala de Richter.

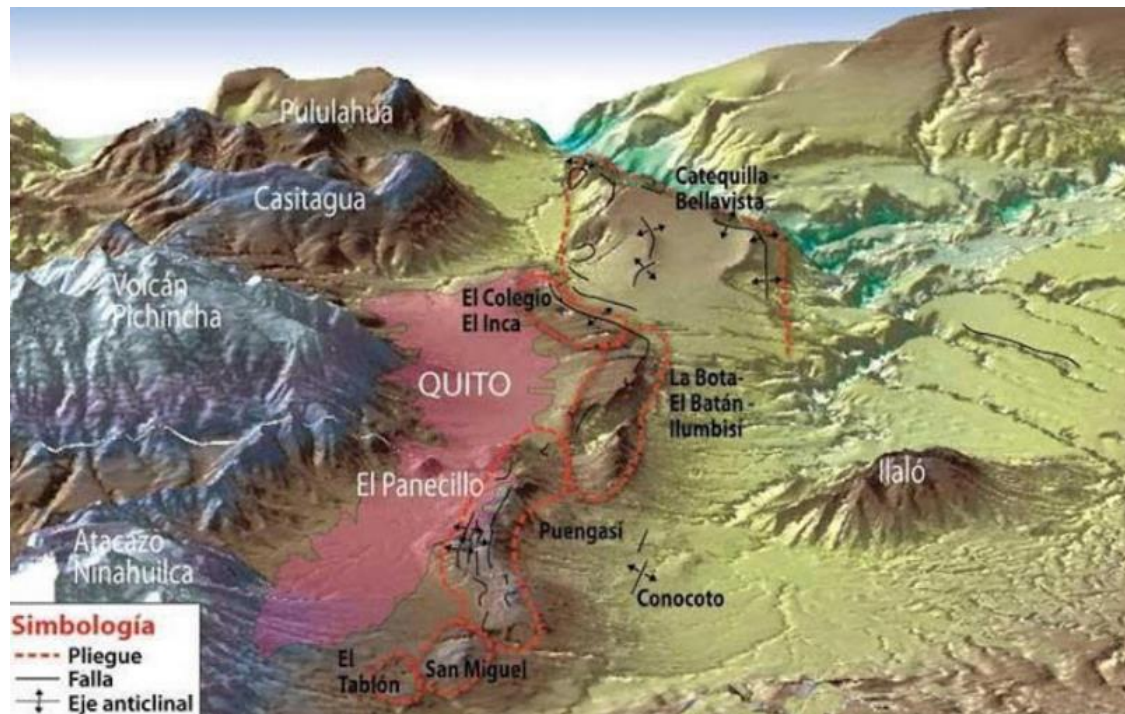


Figura 33. Ubicación de la falla geológica de Quito.
Fuente: (El Planeta Azul, s.f.)

Un estudio realizado por el GADMUR para su plan estratégico en el año 2003 indica un mapa en el cual se puede identificar que una falla geológica atraviesa el Cantón Rumiñahui, la cual empieza en el sector Sur del mismo en la Parroquia Cotogchoa en el sector el Manzano y se dirige hacia la parte Norte atravesando los cauces de los Ríos San Nicolás, Sambache, Santa Clara, Cachaco hasta terminar en el cauce del Río Pita en la Parroquia de Sangolquí sector La Colina (Vásquez & Orozco , 2006), como se indica en la Figura 34.

Alangasí, Sangolquí y el Tingo, producido por una ramificación oriental del sistema de fallas de Quito. (Yepes, 2014)

El último sismo de gran magnitud registrado en el Ecuador, fue el ocurrido el sábado 16 de Abril del 2016 a las 18h58 (tiempo local), el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en su informe especial N.13 detalla que la magnitud fue de 7.8 Mw, el hipocentro se ubicó frente a Pedernales – Provincia de Manabí, a 20 km de profundidad, fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca (Placa Oceánica) que se sumerge bajo la Sudamericana (Placa Continental). (IG-EPN, Informe Técnico del Sismo de Pedernales, 2016)

Fueron registradas 230 réplicas localizadas por la red Sísmica Nacional, con tamaños que varían entre 3.5 a 6.1 de magnitud. La mayoría de éstas se ubicaron cerca de Puerto Cabuyal – Provincia de Manabí, los datos indican que la mayoría de las réplicas fueron superficiales (<20 km en profundidad). (IG-EPN, Informe Técnico del Sismo de Pedernales, 2016)

El Cantón Rumiñahui a causa del sismo del 16 de Abril del 2017 no sufrió daños graves, se registró una aceleración máxima del suelo de 0,063g con respecto a la aceleración máxima registrada en el punto de ocurrencia de 0,4g.

CAPITULO IV

4. Metodología y Técnicas de Estudio

En este capítulo se presentan las diferentes metodologías que serán utilizadas para la evaluación de vulnerabilidad estructural de 6 puentes que atraviesan los ríos Santa Clara, San Pedro y Pita, ante erupciones volcánicas y fenómenos sísmicos

El objetivo de la aplicación de estas metodologías es obtener como resultado el grado de vulnerabilidad de las estructuras en la actualidad frente a la presencia de cualquiera de los fenómenos antes mencionados, logrando evitar un colapso de la estructura o su mal funcionamiento.

Estas metodologías se basan en el estado físico de la estructura, tomando en cuenta diferentes parámetros que serán explicados a continuación.

4.1 Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador plantea la siguiente metodología para la evaluación de vulnerabilidad de las redes viales existentes en una determinada zona ante la presencia de una erupción volcánica. (SNGR, 2011)

En la presente disertación se usará la metodología mencionada para la evaluación de vulnerabilidad de 6 puentes que se encuentran ubicados en la zona de influencia ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, para la interpretación de resultados se utilizará un método práctico cualitativo mediante un enfoque técnico visual.

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) existen criterios e información para definir las variables e indicadores que se usan para la evaluación de vulnerabilidad físico estructural de puentes ante un evento volcánico **Fuente especificada no válida.**, estas variables están detalladas en la Tabla 11.

Tabla 11. Variables para la evaluación de la vulnerabilidad.

PUENTES	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	EXPLICACIÓN Y USO DE LA INFORMACIÓN
	Exposición	La exposición es una forma de vulnerabilidad pero ésta no es real, salvo si el elemento esencial es susceptible de daño.
	Estado del Revestimiento	Determina condiciones actuales de funcionamiento que pueden ampliar las condiciones de vulnerabilidad.
	Mantenimiento	El mantenimiento de las estructuras, garantiza el buen funcionamiento y la detección de fallas en el sistema.
	Estándares de Diseño	Al contar con normatividad, en cuanto a parámetros de diseño, se garantiza obras seguras, durables, de funcionamiento adecuado sostenible.

Fuente: (SNGR, 2011)

Cada variable de vulnerabilidad es calificada con un valor que puede ser “0”, “1”, “5”, o “10” dependiendo de su indicador, el indicador es evaluado según su grado de afectación siendo 10 la condición más desfavorable.

La calificación que tenga cada variable será multiplicada por el valor ponderado asignado, y la sumatoria global de dichos valores dará como resultado la evaluación de vulnerabilidad de la estructura. El resultado tendrá un valor dentro del rango de “0” a “100”.

Se asignará el máximo valor “100” en la evaluación de vulnerabilidad cuando el gálibo de la estructura sea menor que el nivel de agua ocasionado por la descendencia de lahares o flujos de lodo, en este caso la estructura estará en un estado sumergido y tendrá el máximo valor de vulnerabilidad frente a un fenómeno volcánico.

En la Tabla 12 se encuentran las variables de vulnerabilidad, indicadores, amenazas (Volcánica lahar / flujo lodo, Volcánica ceniza) y los valores ponderados respectivamente.

Tabla 12. Ficha de la metodología usada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos para la evaluación de vulnerabilidad ante un fenómeno volcánico.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor Máximo	Ponderador volcánica ceniza	Valor Máximo
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	30	1	10
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP	1	0	5	50	4	40
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					100		100

Fuente: (SNGR, 2011)

Una vez que se obtenga la sumatoria total de los resultados de vulnerabilidad de la estructura, se procede a la interpretación de los mismos mediante el método cualitativo que se muestra en la Tabla 13

Tabla 13. Análisis cualitativo de vulnerabilidad para la interpretación de los resultados.

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 Hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011)

4.2 Evaluación de Vulnerabilidad Ante Fenómenos Sísmicos

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural mediante la presentación de metodologías de estimación de la vulnerabilidad de puentes basadas en procedimientos propuestos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del mismo país, plantea la aplicación de un sistema de evaluación modificado (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006) de vulnerabilidad de puentes ante eventos sísmicos denominado SIPUMEX (Sistemas de Puentes de México). La modificación del sistema se debe a la eliminación de parámetros no importantes para reflejar condiciones adversas por acción sísmica (pasamanos, cauce, taludes, clima, etc) y en anexar nuevos parámetros indicadores de dicha degradación.

La presente metodología estudia 12 parámetros importantes para la determinación del grado de vulnerabilidad de puentes ante un evento sísmico, estos parámetros fueron obtenidos mediante aportes propuestos por profesionales expertos en la evaluación de sistemas viales, los mismos que recomendaron un procedimiento de fácil estimación logrando una evaluación visual no muy larga.

Cada parámetro recibe una calificación entre “0” y “5” dependiendo de su fragilidad, obtenida mediante una inspección visual y un análisis técnico de la estructura, siendo “5” la calificación más desfavorable. Se uniformaron algunos criterios para definir los pesos de los parámetros mediante la solución de una ecuación de múltiples variables y suponiendo un total de 100% en todos ellos. (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

En la siguiente tabla se indica los 12 parámetros a evaluar, las diferentes categorías dependiendo su grado de fragilidad por carga sísmica y la ponderación conforme a la importancia de cada parámetro (W_i).

Tabla 14. Ficha de la metodología usada por SIPUMEX Modificado para la evaluación de vulnerabilidad ante un fenómeno sísmico.

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1977	1959 <	0.1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces	-	Altura de pilas $\neq 5$ veces	0.1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: > 45°	0.1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0.1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0.0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0.1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0.0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0.0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0.0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Contacto Directo	0.0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0.0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0.0577

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Cada parámetro posee un valor de ponderación para el cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica dependiendo de la importancia del mismo. Se asigna un peso más alto, por ejemplo al factor de peligrosidad sísmica, el cual se refiere a la zona sísmica en la que se encuentra la estructura.

PÁRAMETRO	Wi
Peligrosidad Sísmica	0.1346
Año de Construcción	0.1154
Irregularidad en la Subestructura	0.1154
Irregularidad en Superestructura	0.1154
Cimentación	0.1154
Pilas	0.0769
Apoyos	0.0769
Trabes	0.0769
Estado de Conservación	0.0577
Importancia del Puente	0.0962
Estribos	0.0384
Juntas de Expansión	0.0192

A continuación se explica a detalle cada factor evaluado en la ficha de vulnerabilidad sísmica.

Parámetro 1

El parámetro “Año de construcción” se refiere al año el que fue construido la estructura, teniendo el grado de fragilidad más alto aquellos construidos antes del año 1959.

Tabla 15. Categorías “Año de Construcción”

AÑO DE CONSTRUCCIÓN	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
>1993	1	Puentes construidos desde el año 1993 hasta la actualidad
1985 - 1993	2	Puentes construidos entre los años 1985 y 1993
1977 - 1985	3	Puentes construidos entre los años 1977 y 1985
1959 - 1977	4	Puentes construidos entre los años 1959 y 1977
1959 <	5	Puentes construidos antes del año 1959

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 2

El parámetro “Irregularidad en la subestructura”, se debe a las condiciones topográficas, que generan pilas con diferente rigidez y resistencia.

- Modelo Regular, Base de Comparaciones.

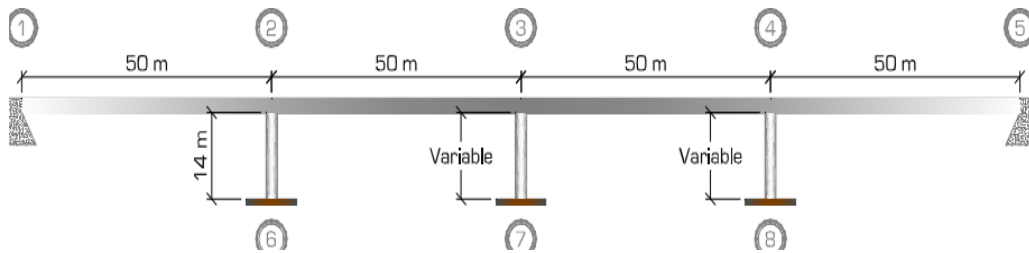


Figura 35. Modelo Regular.
Fuente: (Soberón, 2010)

- Modelo Irregular, variación de la pila central y extrema.

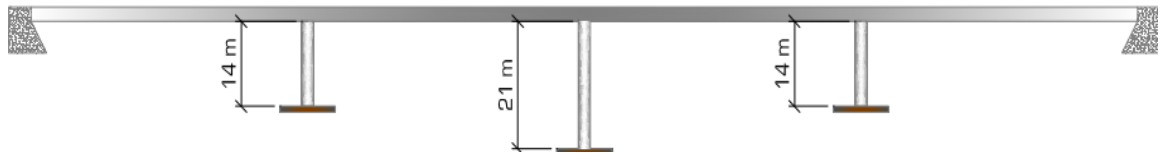


Figura 36. Modelo Irregular, pila extrema menor que pila central.
Fuente: (Soberón, 2010)

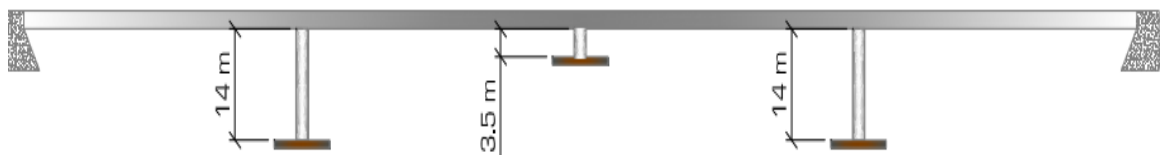


Figura 37. Modelo Irregular, pila extrema mayor que pila central.
Fuente: (Soberón, 2010)

Tabla 16. Categorías “Irregularidad en la Subestructura

IRREGULARIDAD EN LA SUBESTRUCTURA	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Ninguna	1	Modelo Regular
Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces	3	Cuando la variación entre la pila central y extrema sea diferente de 1.5 a 2 veces
Altura de pilas \neq 5 veces	5	Cuando la variación entre la pila central y extrema sea diferente de 5 veces.

Fuente: (Soberón, 2010)

Parámetro 3

El parámetro “Irregularidad en la superestructura” se analiza en base al ángulo de esviaje, denominado así al ángulo agudo medido entre el sentido de escurrimiento del río y la normal al eje longitudinal del puente. (Wikivia, 2009)

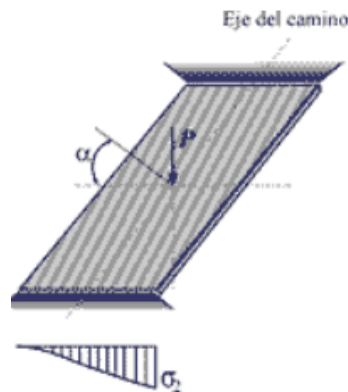


Figura 38. Grafico explicativo del esviaje de un puente

Fuente: (Ingeniería Civil, s.f.)

Tabla 17. Categorías “Irregularidad en la Superestructura”

IRREGULARIDAD EN LA SUPERESTRUCTURA	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Esviaje: $<10^\circ$	1	Ángulo de esviaje menor a 10°
Esviaje: $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	2	Ángulo de esviaje mayor o igual a 10° y menor que 30°
Esviaje: $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	3	Ángulo de esviaje mayor o igual a 30° y menor que 45°
Esviaje: $> 45^\circ$	5	Ángulo de esviaje mayor a 45°

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 4

El parámetro “Cimentación” se refiere al tipo de suelo en el que está cimentado el puente.

Tabla 18. Categorías “Cimentación”

TIPO DE SUELO	GRADO DE FRAGILIDAD
Roca	1
Arcilla	3
Granular	5

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 5

El parámetro “Importancia del puente” fue asignado en función de la clasificación de la carretera donde se localiza.

Tabla 19. Categorías “Importancia del puente”

TIPO CAMINO	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Camino D	1	Red comunitaria
Camino C	2	Red secundaria
Camino B	3	Red básica
Camino A	5	Autopista

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

En el Ecuador se puede interpretar de la siguiente manera:

SYPUDEX	Red Vial Ecuatoriana	Comentario
Red Comunitaria	Red Cantonal	Caminos vecinales
Red Secundaria	Red Secundaria	Calles que alimentan a la red básica
Red Básica	Red Primaria	Principales avenidas
Autopista	Autopista	Autopista, vías rápidas

Fuente: (Betancourt, 2014)

Parámetro 6

En el parámetro “Peligrosidad sísmica” fue asignado en base a la aceleración en proporción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 20. Categorías “Peligrosidad sísmica”

ZONA	GRADO DE FRAGILIDAD	ACELERACIÓN EN PROPORCIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA
Zona A	1	a. Max < 0.1g
Zona B	2	$0.1g \leq a. \text{ Max} < 0.2g$
Zona C	3	$0.2g \leq a. \text{ Max} < 0.4g$
Zona D	4	$0.4g \leq a. \text{ Max} < 0.7g$
Zona E	5	a. Max $\geq 0.7 g$

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 7

Para el parámetro “Juntas de expansión” se analiza el número de claros existentes en la estructura.

Tabla 21. Categorías “Juntas de Expansión”

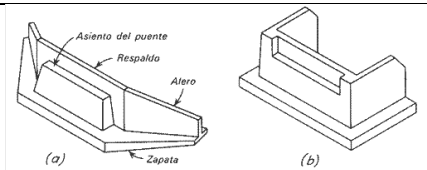
NÚMERO DE CLAROS	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Claros <1	1	Un solo claro
Claros entre 2 y 3	2	Dos o tres claros
Claros entre 4 y 5	3	Cuatro o cinco claros
Claros > 5	5	Más de cinco claros

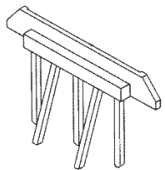
Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 8

El parámetro “Estribos” fue asignado en función del diseño y materiales empleados en la construcción del mismo.

Tabla 22. Categorías “Estribos”

ESTRIBOS	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Con aleros integrados, de concreto	1	 <p>Una pila central soportando el apoyo del puente y de dos aleros para retener el terraplén. Los tres elementos descansan en una sola zapata. Si los aleros están en ángulo recto con la pila, la estructura se llama estribo en U.</p>
Con aleros integrados, de mampostería	2	Mismo esquema que estribos con aleros de concreto, pero de ladrillo o bloque.
Pilotes con cabezal, de concreto	3	

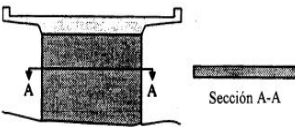
		 <p>Dos o más columnas verticales con un cabezal que soporta los apoyos del puente.</p>
Pilotes con cabezal, de mampostería	4	Mismo esquema que estribos con pilotes con cabezal, pero de ladrillo o bloque.
Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	5	Cimentados sobre terraplén

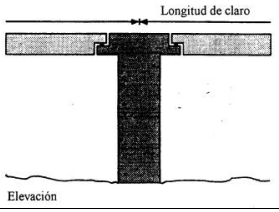
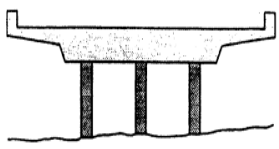
Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 9

El parámetro “Pilas” fue asignado en función del diseño y materiales empleados en la construcción del mismo.

Tabla 23. Categorías “Pilas”

PILAS	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Pila tipo pantalla, concreto	1	 <p>Sección A-A</p>
Pila tipo pantalla con mampostería estructural	2	Igual esquema que la pila sólida, pero de ladrillo o bloque.

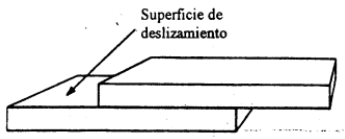
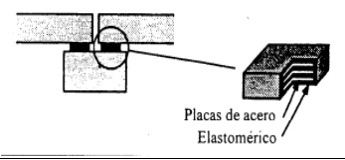

Pila con cabezal, tablero simplemente apoyado.	3	
Dos o más columnas sin cabezal	4	
Otros	5	Estructuras que carecen de datos.

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 10

El parámetro “Apoyos“, se analiza en función del tipo de apoyos que tiene la estructura.

Tabla 24. Categorías “Apoyos”

APOYOS	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Apoyo Deslizante	1	
De Neoprenos	2	
Apoyo Rolado	3	
Contacto Directo	5	No existen apoyos

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Parámetro 11

Tabla 25. Categoría “Trabes”

TRABES	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Vano Único	1	Vano: Espacio que queda por debajo de un puente entre dos apoyos consecutivos.
Vigas Monolíticas	2	Puentes de hormigón cuya tipología responde a un único tablero de luz corta-media (entre 30 y 50 m).
Vigas Continuas	3	Poseen una superestructura rígida, de vigas en celosía (de acero de alma llena u hormigón), apoyada en tres o más pilas; admiten grandes luces, pero son muy sensibles a los asentamientos de las pilas.
Vigas Simplemente Soportadas	4	Vigas simplemente apoyadas.
Vanos Múltiples	5	Estructura con más de un vano.



Figura 39. Puente de vigas Monolíticas.

Fuente: (Soberón, 2010)



Figura 40. Puente de vigas Continuas.

Fuente: (Soberón, 2010)

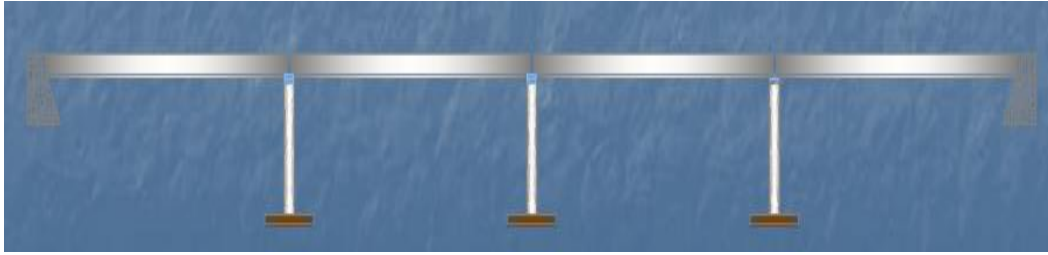


Figura 41. Puente de vigas Simplemente Apoyadas.

Fuente: (Soberón, 2010)

Parámetro 12

Tabla 26. Categoría “Estado de Conservación”

ESTADO DE CONSERVACIÓN	GRADO DE FRAGILIDAD	COMENTARIOS
Acción de mantenimiento <5 años	1	Si se ha hecho algún mantenimiento a la estructura en los últimos 5 años
Acción de mantenimiento > 5 años	3	Si se ha hecho algún mantenimiento a la estructura en algún momento
No se ha realizado mantenimiento	5	No se ha realizado mantenimiento a la estructura

Para el parámetro “Pilas” se asignó la categoría “Otros”, con fragilidad de 5, a aquellas estructuras que carecen de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignará categoría 0. (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

En el caso de que algún parámetro no cuente con la información necesaria, se le asignará la categoría de mayor vulnerabilidad. (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Cuando se presente en la inspección visual algún grado de daño visible en la estructura, se castigará con una o dos categorías de fragilidad a los parámetros evaluados. (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Una vez analizados los doce parámetros, categorías y ponderaciones de cada puente, se calcula el índice de vulnerabilidad ante un evento sísmico con el uso de la siguiente Ecuación.

$$IV_{MG} = \sum_{i=1}^{12} Y_i * W_i$$

Donde:

IV_{MG} = Índice de vulnerabilidad por acción sísmica.

Y_i = Valor de categoría por cada parámetro.

W_i = Ponderación por cada parámetro.

\sum = Sumatoria de términos.

Tomando el resultado de la sumatoria de términos, se procede a redondear para proseguir a la tabla de índice de vulnerabilidad visto que dicha tabla muestra solo números enteros, se redondeara el resultado del cálculo por cada 0.5 con el inmediato superior.

Con el valor redondeado obtenido del índice de vulnerabilidad por acción sísmica calculado con la fórmula antes indicada, se realiza un análisis cualitativo para la

determinación del grado de vulnerabilidad de la estructura siendo 5 el caso más desfavorable y 1 el más óptimo como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Análisis cualitativo para la determinación del grado de vulnerabilidad.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

Para los valores de índice de vulnerabilidad se aplicaran acciones necesarias según sea el caso como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 28. Calificación Cualitativa del Método Modificado SIPUMEX

IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo d atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Fuente: (Gómez Soberón , Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

CAPITULO V

5. Evaluación y resultados

En este capítulo se aplica la metodología de evaluación técnico visual explicada en capítulos anteriores, para los seis puentes que atraviesan los ríos Santa Clara, Pita y San Pedro, comprendidos en este estudio. Dicha evaluación tiene efecto ante fenómenos sísmicos y erupciones volcánicas.

El trabajo de recolección de datos se realiza mediante inspección en campo de las estructuras en estudio de este trabajo de disertación.

Aparte de las fichas utilizadas provenientes de la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y el sistema de evaluación modificado denominado SYPUMEX, planteado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, se usan conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería civil. Todo esto en conjunto para interpretar los resultados obtenidos.

5.1 Río Santa Clara - Puente de Hormigón Armado “Av. Yaguachi”, Sector Santa Bárbara.



Figura 42. Puente Av. Yaguachi.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

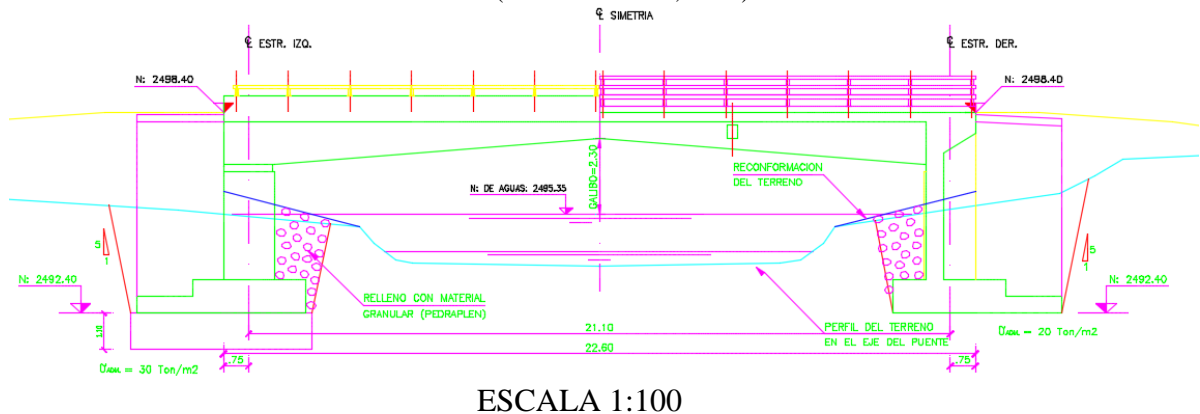


Figura 43. Vista en Elevación. Puente de Hormigón Armado Av. Yaguachi.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

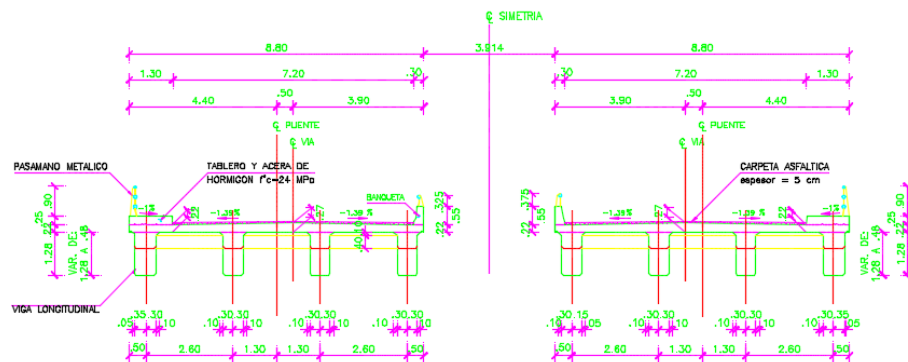


Figura 44. Corte transversal puente Av. Yaguachi.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.1.1 Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Pte Av. Yaguachi
Nombre del río:	Santa Clara
Nombre de la vía:	Av. Yaguachi
Año de construcción:	2007
Mantenimiento:	Ninguno

Inspector:	Gabriela Escobar Cando Gabriela Oña Pintado
Fecha:	07 de Febrero del 2017

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	Pantalla y muros de ala
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Neopreno
Trabes:	Vano único

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	X
Regular	
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

GEOMETRÍA	
Longitud	22.60 m
Ancho Total	8,80m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	4

UBICACIÓN	
Sector:	Santa Bárbara
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	X
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (Especifique)	

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	X
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.1.1. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	3	1	0
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	5	4	0
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					28		50

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.1.2. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de hormigón armado ubicado en la Avenida Yaguachi, sector Santa Bárbara que atraviesa el Río Santa Clara, presenta una afectación parcialmente inundado ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del galibo (2,30 m) es menor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (4 m).

Tabla 29. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Santa Clara. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Av. Yaguachi	Club de Oficiales	Bulevar	44,1	19600	0,09	4	Los flujos tienen una extensión de 300 y 200 m.	Inundado
Calle Isla Pinzón e Isla Santiago	San Rafael	Clínica San Rafael	44,1	19600	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 300 y 86 m.	Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Dado que la altura máxima de caudal de lahares o flujos de lodo sobrepasa la altura del gálibo de la estructura se concluye que el puente quedará sumergido, por lo tanto se le asignará el máximo valor “100” en el análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alto por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 30. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD	
	0 Hasta 33	Baja	
→	34 - 66	Media	←
→	Mayor a 66	Alta	←

Fuente: (SNGR, 2011)

5.1.3. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces	-	Altura de pilas \neq 5 veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: > 45°	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rolado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 2,7886 \longrightarrow 3							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

5.1.4. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Hormigón Armado de la “Av. Yaguachi”, con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de vulnerabilidad moderado ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo d atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se deberá tener en cuenta un daño significativo, con reparaciones necesarias en un plazo de 3 a 5 años para precautelar la seguridad de los usuarios de la estructura.

5.2. Río Santa Clara - Puente de Hormigón Armado “Calle Isla Pinzón e Isla Santiago”, Sector San Rafael.



Figura 45. Puente Isla Pinzón e Isla Santiago.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

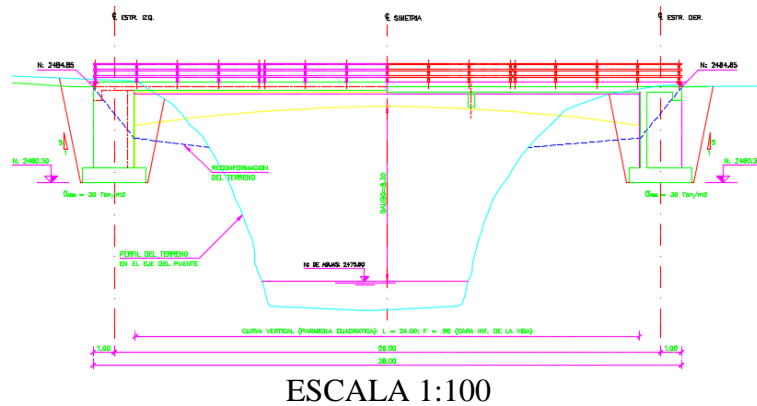


Figura 46. Vista en elevación puente de hormigón armado Isla Santiago.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

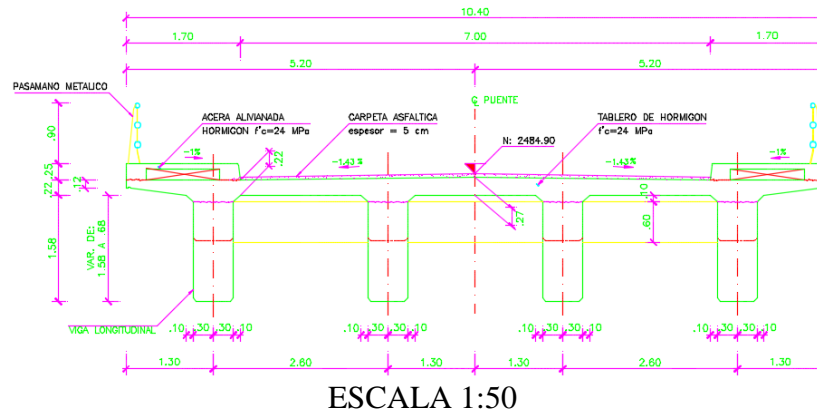


Figura 47. Corte transversal puent de hormigón armado Isla Santiafo.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.2.1. Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Calles "Isla P. e Isla S."
Nombre del río:	Santa Clara
Nombre de la vía:	Isla Pinzón e Isla Santiago
Año de construcción:	2008
Mantenimiento:	Ninguno

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	Pantalla y muro de ala
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Neopreno
Trabes:	Vano Único

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	X
Regular	
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

GEOMETRÍA	
Longitud	26m
Ancho Total	10,40m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	2

UBICACIÓN	
Sector:	San Rafael
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	X
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (Especifique)	

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	X
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

(Escobar & Oña , 2017)

5.2.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	3	1	0
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	5	4	0
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					28		50

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.2.3. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de hormigón armado ubicado en la Calle Isla Pinzón e Isla Santiago, sector San Rafael que atraviesa el Río Santa Clara, presenta un riesgo de vulnerabilidad alto (inundado) ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del gálibo (4,9 m) es menor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (6 m).

Tabla 31. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Santa Clara. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Av. Yaguachi	Club de Oficiales	Bulevar	44,1	19600	0,09	4	Los flujos tienen una extensión de 300 y 200 m.	Parcialmente Inundado
Calle Isla Pinzón e Isla Santiago	San Rafael	Clínica San Rafael	44,1	19600	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 300 y 86 m.	Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Dado que la altura máxima de caudal de lahares o flujos de lodo sobrepasa la altura del gálibo de la estructura se concluye que el puente quedará sumergido, por lo tanto se le asignará el máximo valor “100” en el análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla , se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 32. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 Hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011)

5.2.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas \neq 1.5 a 2 veces	-	Altura de pilas \neq 5 veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	Esviaje: $30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	-	Esviaje: > 45°	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 2,327 → 2							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

5.2.5. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Hormigón Armado “Calle Isla Pinzón e Isla Santiago”, con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta poca vulnerabilidad ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

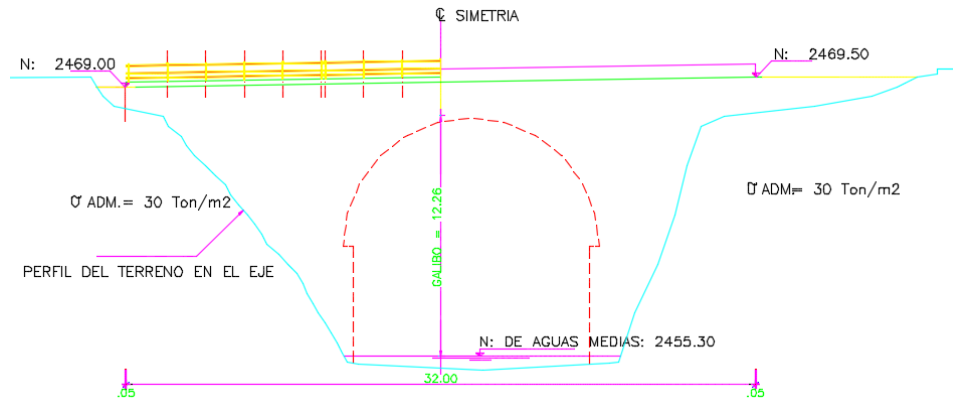
IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se tiene que la estructura presenta problemas menores y no se define un plazo de atención.

5.3. Río San Pedro - Puente de Mampostería de Ladrillo “Calle La Concordia” Sector San Pedro.



Figura 48. Puente de Mampostería La Concordia.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)



ESCALA 1:100

Figura 49. Vista en elevación del puente de mampostería de ladrillo La Concordia.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

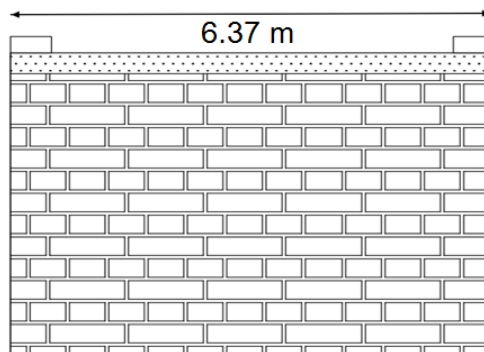


Figura 50. Corte transversal puente de mampostería de ladrillo La Concordia.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.3.1. Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Calle "La Concordia"
Nombre del río:	San Pedro
Nombre de la vía:	La Concordia
Año de construcción:	<1959
Mantenimiento:	Ninguno

Inspector:	Gabriela Escobar Cando Gabriela Oña Pintado
Fecha:	07 de Febrero del 2017

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	De Mampostería de Ladrillo
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Sobre arco
Trabes:	Mampostería

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	
Regular	X
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

GEOMETRÍA	
Longitud	32 m
Ancho Total	6,37 m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	1

UBICACIÓN	
Sector:	San Pedro
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (EN ARCO)	X

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	X

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

(Escobar & Oña , 2017)

5.3.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	15	1	5
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	50	4	40
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL						85	

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.3.3. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de mampostería ubicado en la Calle La Concordia, sector San Pedro que atraviesa el Río San Pedro, presenta una afectación parcialmente inundado ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del gálibo (7,75 m) es mayor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (5 m).

Tabla 33. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río San Pedro. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle La Concordia	San Pedro	Iglesia "El Señor de los Puentes"	44,1	49000	0,09	5	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla , se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad alto por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad alto por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 34. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 Hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011)

5.3.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces	-	Altura de pilas $\neq 5$ veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: $> 45^{\circ}$	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 3,0193 \longrightarrow 3							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

En el parámetro “Apoyos” se castiga con el máximo valor ya que al ser una estructura de mampostería y no encontrarse un factor para esa descripción es lo ideal.

5.3.5. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Mampostería de ladrillo “Calle La Concordia” con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta: un grado de vulnerabilidad moderada ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se deberá tener en cuenta un daño significativo, con reparaciones necesarias en un plazo de 3 a 5 años para precautelar la seguridad de los usuarios de la estructura.

5.4. Río San Pedro - Puente de Hormigón Armado “Calle La Concordia”, Sector San Pedro.



Figura 51. Puente La Concordia (Ampliación).
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

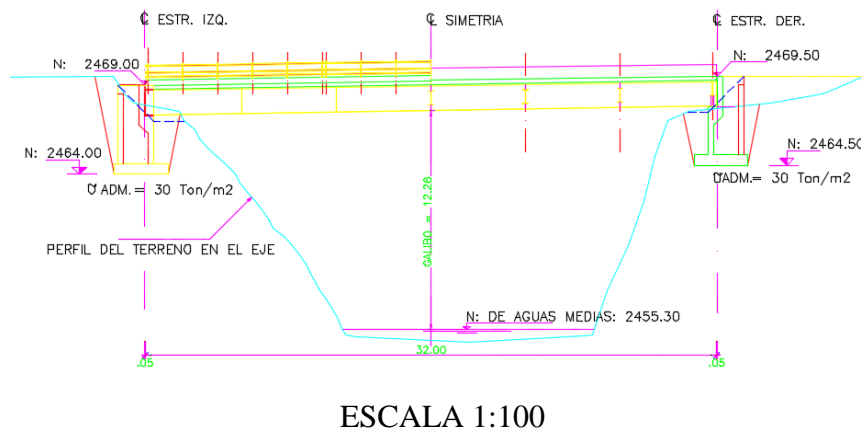


Figura 52. Vista en elevación del puente de hormigón armado La Concordia.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

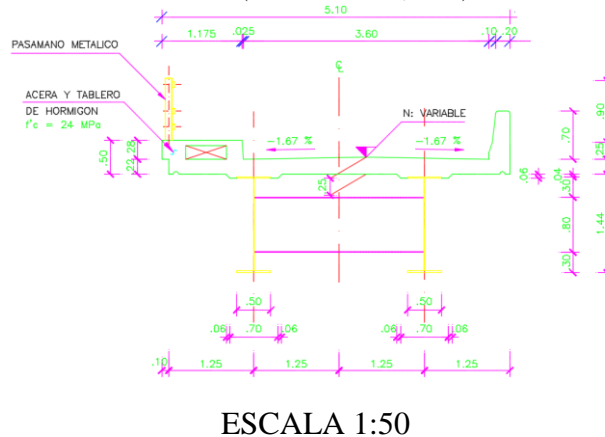


Figura 53. Corte transversal del puente de hormigón armado La Concordia.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.4.1. Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Calle "La Concordia"
Nombre del río:	San Pedro
Nombre de la vía:	La Concordia
Año de construcción:	2006
Mantenimiento:	Ninguno

Inspector:	Gabriela Escobar Cando Gabriela Oña Pintado
Fecha:	07 de Febrero del 2017

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

UBICACIÓN	
Sector:	San Pedro
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	Con Aleros, Concreto
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Elastometrico
Trabes:	Vano Único

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	X
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (Especifique)	

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	
Regular	X
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	X
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	

GEOMETRÍA	
Longitud	32 m
Ancho Total	5.10m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	1

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

(Escobar & Oña , 2017)

5.4.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	15	1	5
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	5	4	0
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					40		55

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.4.3. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de hormigón armado ubicado en la Calle La Concordia, sector San Pedro que atraviesa el Río San Pedro, presenta una afectación parcialmente inundado ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del gálibo (8,1 m) es mayor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (5 m).

Tabla 35. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río San Pedro. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN 10^6 m^3	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle La Concordia	San Pedro	Iglesia "El Señor de los Puentes"	44,1	49000	0,09	5	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla, se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad medio por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad medio por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 36. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 Hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011)

5.4.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces	-	Altura de pilas $\neq 5$ veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: $> 45^{\circ}$	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 2,327 \longrightarrow 2							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

5.4.5. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Hormigón Armado “Calle La Concordia” con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta poca vulnerabilidad ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se tiene que la estructura presenta problemas menores y no se defina un plazo de atención.

5.5. Río Pita - Puente de Hormigón Armado “Calle Isla Genovesa”, Sector Playa Chica.



Figura 54. Puente Isla Genovesa.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

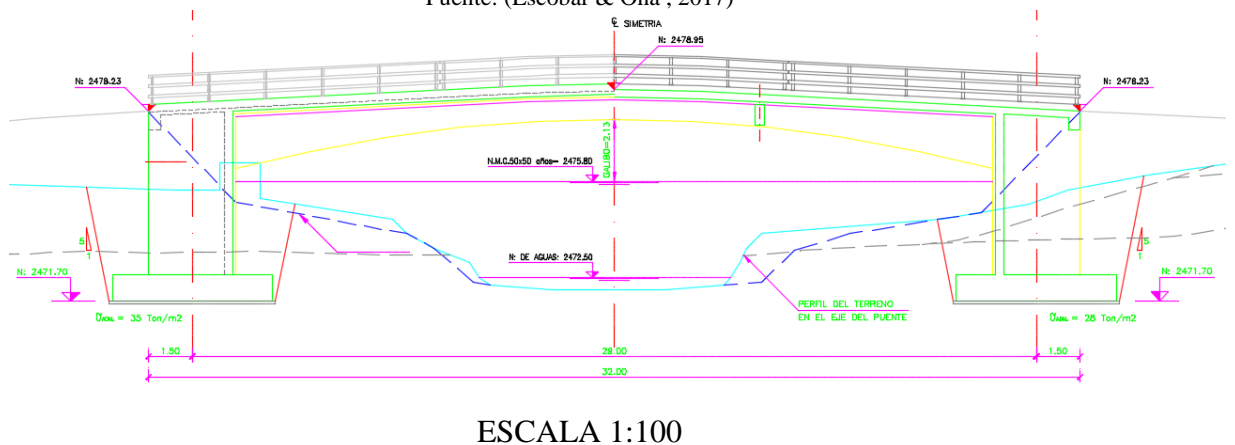


Figura 55. Vista en elevación del puente de hormigón armado Isla Genovesa.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

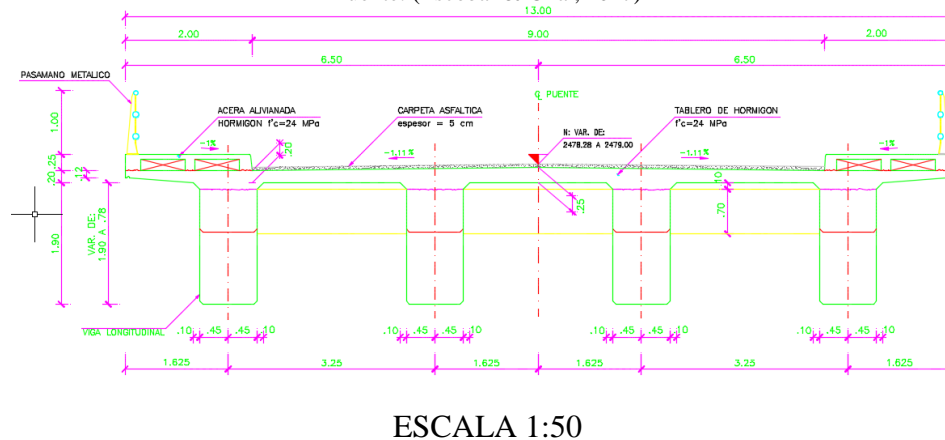


Figura 56. Corte transversal puente de hormigón armado Isla Genovesa.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.5.1. Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Calle "Genovesa"
Nombre del río:	Pita
Nombre de la vía:	Genovesa
Año de construcción:	2010
Mantenimiento:	Ninguno

Inspector:	Gabriela Escobar Cando Gabriela Oña Pintado
Fecha:	07 de Febrero del 2017

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	Pantalla y muro de ala
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Neopreno
Trabes:	Vano único

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	X
Regular	
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

GEOMETRÍA	
Longitud	32m
Ancho Total	13m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	2

UBICACIÓN	
Sector:	San Rafael
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	X
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (Especifique)	

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	X
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

(Escobar & Oña , 2017)

5.5.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	3	1	0
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	5	4	0
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					28		50

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.5.3. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de hormigón armado ubicado en la Calle Isla Genovesa, sector Playa Chica que atraviesa el Río Pita, presenta una afectación parcialmente inundado ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del gálibo (2,13 m) es menor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (3,33 m).

Tabla 37. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Pita. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle Pastaza	El Progreso	Hyper Market	44,1	49000	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 500 y 300 m a cada lado del río.	Inundado
Calle Isla Genovesa	Playa Chica	Colegio "M.D.G"	44,1	49000	0,09	3,33	Los flujos tienen una extensión de 322 y 300 m a cada lado del río.	Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Dado que la altura máxima de caudal de lahares o flujos de lodo sobrepasa la altura del gálibo de la estructura se concluye que el puente quedará sumergido, por lo tanto se le asignará el máximo valor “100” en el análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla , se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 38. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 Hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR, 2011)

5.5.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces	-	Altura de pilas $\neq 5$ veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: $> 45^{\circ}$	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 2,327 \longrightarrow 2							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

5.5.5. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Hormigón Armado “Calle Isla Genovesa”, con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta poca vulnerabilidad ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

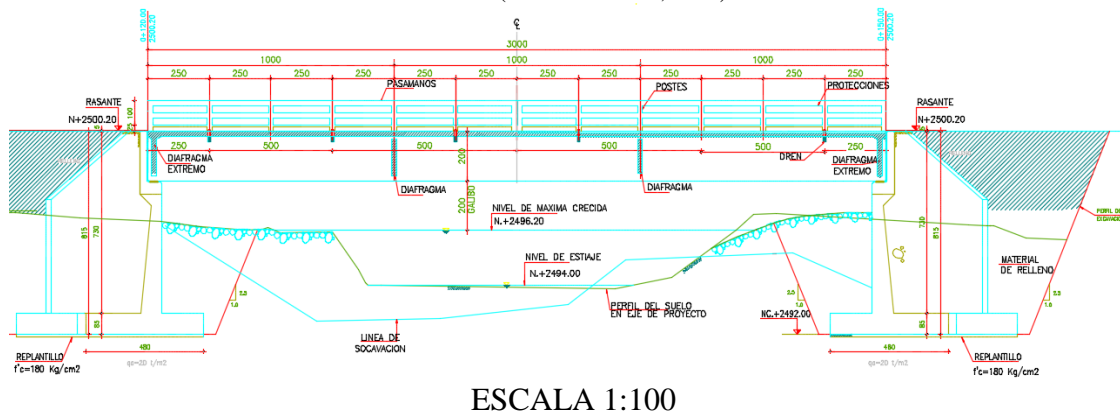
IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo d atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se tiene que la estructura presenta problemas menores y no se define plazo para atención de la misma.

5.6. Río Pita - Puente de Hormigón Armado “Pasaje Zamora”, Sector El Progreso.

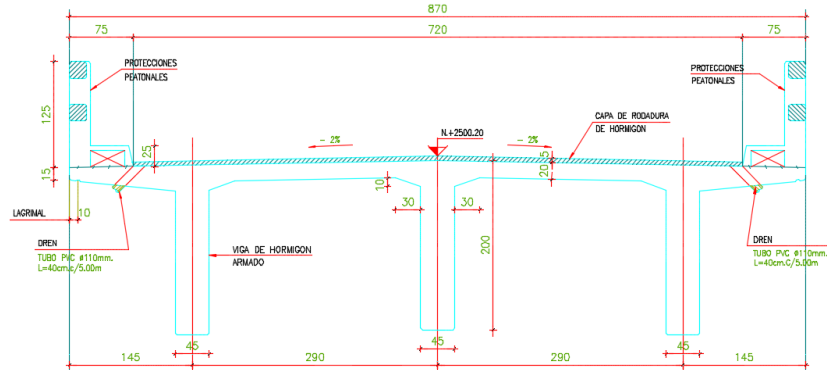


Figura 57. Puente Pasaje Zamora.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)



ESCALA 1:100

Figura 58. Vista en elevación del puente de hormigón armado Pasaje Zamora.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)



ESCALA 1:50

Figura 59. Corte transversal del puente de hormigón armado Pasaje Zamora.
Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.6.1. Ficha de Inspección

FICHA DE INSPECCIÓN

DATOS INFORMATIVOS	
Nombre del puente:	Puente Pasaje Zamora
Nombre del río:	Pita
Nombre de la vía:	Pasaje Zamora
Año de construcción:	2016
Mantenimiento:	Ninguno

Inspector:	Gabriela Escobar Cando Gabriela Oña Pintado
Fecha:	07 de Febrero del 2017

CIMENTACIÓN	
Roca	
Arcilla	
Granular	X

TIPOS DE ELEMENTOS	
Estribos:	Con Aleros, Concreto
Pilas:	Sin Pilas
Apoyos:	Elastometricos
Trabes:	Vano Único

ESTADO DEL REVESTIMIENTO	
Bueno	X
Regular	
Malo	

UTILIDAD PUENTE	
Puente Peatonal	
Puente Vehicular	X

GEOMETRÍA	
Longitud	30 m
Ancho Total	8.70 m
Irregularidad de Pilas	N/A
Número de Vías	2

UBICACIÓN	
Sector:	El Progreso
Ciudad:	Sangolquí
Provincia:	Pichincha

CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	
Simplemente apoyado	X
Continuo	
Tramos	
Atirantado	
Colgante	
Otros (Especifique)	

ESTÁNDARES DE DISEÑO	
NORMA MOP 2002	X
VERSIÓN ANTERIOR	
NO APLICA NORMA	

IMPORTANCIA DEL PUENTE	
Red Comunitaria	
Red Secundaria	
Red Básica	X
Autopista	

(Escobar & Oña , 2017)

5.6.2. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Erupciones Volcánicas

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLES DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	AMENAZAS		Ponderador volcánica lahar/flujo lodo	Valor	Ponderador volcánica ceniza	Valor
			Volcánica lahar/flujo lodo	Volcánica ceniza				
Evaluación de Vulnerabilidad de Puentes	Estado del Revestimiento	Bueno	1	0	3	3	1	0
		Regular	5	5				
		Malo	10	10				
	Mantenimiento	Planificado	1	0	2	20	5	50
		Esporádico	5	5				
		Ninguna	10	10				
	Estándares de Diseño y Construcción	Aplica la Normativa MOP 2002	1	0	5	5	4	0
		Versión Anterior al 2002	5	5				
		No Aplica Normativa	10	10				
	SUMATORIA TOTAL					28		50

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

5.6.3. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de hormigón armado ubicado en la Calle Zamora, sector El Progreso que atraviesa el Pita, presenta un riesgo de vulnerabilidad alto (inundado) ante una posible erupción del volcán Cotopaxi, según una investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” datos que se indican en la Tabla - correspondientes a la altura máxima esperada por el paso de lahares.

La afectación indicada se debe a que la altura del gálibo (2 m) es menor que la altura prevista por el paso del caudal del flujo lahático (6 m).

Tabla 39. Afectación de los lahares en la zona de estudio del Río Pita. (Investigación realizada por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”)

PUENTE	ZONA	ÁREA	VOLUMEN $10^6 m^3$	CAUDAL m^3/s	COEF. MANNING	MÁX. ALTURA m	OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
Calle Pastaza	El Progreso	Hyper Market	44,1	49000	0,09	6	Los flujos tienen una extensión de 500 y 300 m a cada lado del río.	Inundado
Calle Isla Genovesa	Playa Chica	Colegio "M.D.G"	44,1	49000	0,09	3,33	Los flujos tienen una extensión de 322 y 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado

Fuente: (Carrillo, 2013)

Dado que la altura máxima de caudal de lahares o flujos de lodo sobrepasa la altura del gálibo de la estructura se concluye que el puente quedará sumergido, por lo tanto se le asignará el máximo valor “100” en el análisis cualitativo de vulnerabilidad volcánica.

De acuerdo al análisis cualitativo de vulnerabilidad ante un evento volcánico realizado con el uso de la Tabla , se concluye que el puente en análisis presenta: un grado de vulnerabilidad por efecto de un próximo paso de lahares o flujos de lodo; además, de un grado de vulnerabilidad media por la posible presencia de cenizas volcánicas.

Tabla 40. Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Volcánica

	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD	
	0 Hasta 33	Baja	
→	34 - 66	Media	←
→	Mayor a 66	Alta	←

Fuente: (SNGR, 2011)

5.6.4. Ficha de Evaluación de Vulnerabilidad Ante Eventos Sísmicos

	PARÁMETRO	CATEGORÍA					Wi
		1	2	3	4	5	
1	Año de Construcción	>1993	1985 - 1993	1977 - 1985	1959 - 1985	1959 <	0,1154
2	Irregularidad en la Subestructura	Ninguna	-	Altura de pilas $\neq 1.5$ a 2 veces	-	Altura de pilas $\neq 5$ veces	0,1154
3	Irregularidad en Superestructura	Esviaje: <10	Esviaje: $10^{\circ} \leq \alpha < 30^{\circ}$	Esviaje: $30^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ}$	-	Esviaje: $> 45^{\circ}$	0,1154
4	Cimentación	Roca	-	Arcilla	-	Granular	0,1154
5	Importancia del Puente	Camino D	Camino C	Camino B	-	Camino A	0,0962
6	Peligrosidad Sísmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	0,1346
7	Juntas de Expansión	Claros <1	Claros entre 2 y 3	Claros entre 4 y 5	-	Claros > 5	0,0192
8	Estribos	Con aleros integrados, de concreto	Con aleros integrados, de mampostería	Pilotes con cabezal, de concreto	Pilotes con cabezal, de mampostería	Tipo flotante (de mampostería o cimentados sobre terraplén)	0,0384
9	Pilas	Pila sólida, concreto	Pila sólida, mampostería.	Columna sola con cabezal	Columna sola	Otros	0,0769
10	Apoyos	Apoyo deslizante	De neoprenos	-	Apoyo rodado	Placa de acero	0,0769
11	Trabes	Vano único	Vigas monolíticas	Vigas continuas	Vigas simplemente soportadas	Vanos múltiples	0,0769
12	Estado de Conservación	Acción de mantenimiento <5 años	-	Acción de mantenimiento > 5 años	-	No se ha realizado mantenimiento	0,0577
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA = 2,327 \longrightarrow 2							

**En el parámetro Pilas se asignó la categoría “OTROS”, con fragilidad de 5, debido a que la estructura carece de datos. Los puentes que tengan estructuras de claro único, sin pilas, se asignara categoría 0 para la evaluación. (Soberon, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

5.6.5. Análisis de la Ficha de Evaluación

El puente de Hormigón Armado “Calle Zamora”, con la aplicación de la evaluación técnica visual de puentes ante eventos sísmicos presenta poca vulnerabilidad ante posibles movimientos telúricos.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Sin daño
2	Poco vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Vulnerable
5	Muy vulnerable

IV_{MG}	Calificación Cualitativa
0	Puente recientemente construido o separado. Sin problemas
1	Puente en buen estado. No requiere atención
2	Estructuras con problemas menores, plazo d atención indefinido
3	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años
4	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años
5	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o a la brevedad posible.

Para el cual se tiene que la estructura presenta problemas menores y no se define un plazo de atención.

CAPITULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

El proceso de reactivación del volcán Cotopaxi iniciado en el año 2015 dio lugar a este estudio en el que refiriéndonos a vulnerabilidad volcánica se tiene como principales posibles efectos, flujos piroclásticos, caída de ceniza y deshielo de glaciares, los mismos que conllevan a lahares. Y habiendo estudiado sus antecedentes históricos de erupciones esto se afirma.

Lo cual conlleva al estudio de vulnerabilidad volcánica que concluye en la siguiente tabla.

Tabla 41. Tabla Resumen Vulnerabilidad Volcánica

Tabla Resumen Vulnerabilidad Volcánica			
Rio	Puente	Vulnerabilidad (Lahar/Ceniza)	Descripción
Rio Santa Clara	Pte. de Hormigón Armado “Av. Yaguachi”	Alto / Medio	Inundado
	Pte. de Hormigón Armado “Calle Isla Pinzón e Isla Santiago”	Alto / Medio	Inundado
Rio San Pedro	Pte. de Mampostería de Ladrillo “Calle La Concordia”	Alto / Alto	Parcialmente inundado
	Pte. de Hormigón Armado “Calle La Concordia”	Medio / Medio	Parcialmente inundado
Rio Pita	Pte. de Hormigón Armado “Calle Isla Genovesa”	Alto / Medio	Inundado
	Pte. de Hormigón Armado “Pasaje Zamora”	Alto / Medio	Inundado

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

Se muestra que por efecto de lahares provenientes del volcán Cotopaxi en una posible erupción, cuatro de los seis puentes estudiados quedarían por debajo del nivel de aguas.

Los puentes pertenecientes a los ríos Pita y Santa Clara se verían totalmente afectados.

La evaluación de vulnerabilidad sísmica, mediante su aplicación concluye en los posibles daños que se generen en la estructura ante un evento telúrico en la zona de estudio, habiendo aplicado esta metodología se ha llegado a los siguientes resultados.

Tabla 42. Tabla Resumen Vulnerabilidad Sísmica

Tabla Resumen Vulnerabilidad Sísmica			
Rio	Puente	Índice de Vulnerabilidad	Descripción
Rio Santa Clara	Pte. de Hormigón Armado “Av. Yaguachi”	2,7886 → 3	Moderadamente Vulnerable
	Pte. de Hormigón Armado “Calle Isla Pinzón e Isla Santiago”	2,327 → 2	Poco Vulnerable
Rio San Pedro	Pte. de Mampostería de Ladrillo “Calle La Concordia”	3,0193 → 3	Moderadamente Vulnerable
	Pte. de Hormigón Armado “Calle La Concordia”	2,327 → 2	Poco Vulnerable
Rio Pita	Pte. de Hormigón Armado “Calle Isla Genovesa”	2,327 → 2	Poco Vulnerable
	Pte. de Hormigón Armado “Pasaje Zamora”	2,327 → 2	Poco Vulnerable

Fuente: (Escobar & Oña , 2017)

Como se observa en la tabla de resumen, dos de los puentes estudiados son los que presentan un mayor grado de vulnerabilidad frente a los demás. Esto a raíz de sus condiciones estructurales existentes. Y teniendo como consecuencia un daño significativo en la estructura para los dos puentes que presentan una vulnerabilidad moderada, y teniendo en cuenta que sería necesaria su reparación en el plazo de 3 a 5 años para así, asegurar su buen funcionamiento.

En cuanto a los cuatro puentes que muestran poca vulnerabilidad sísmica, se tiene que la estructura podría presentar problemas menores.

Bibliografía

- (INII), L. d. (31 de Mayo de 2011). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr>
- Aguilera Ortiz, E., & Toulkeridis, T. (2004). *El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Theofilos_Toulkeridis/publication/277660468_El_Volcan_Cotopaxi_una_amenaza_que_acecha/links/556f2de008aefcb861dd5093.pdf
- Ambiente, M. d. (2015). *Reserva Ecológica Antisana*. Obtenido de Reserva Ecológica Antisana: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-ecol%C3%B3gica-antisana>
- Andrade, D. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*. Quito: Corporación Editorial Nacional.
- Anónimo. (1 de Noviembre de 2012). *Concepción Holística del Riesgo*. Obtenido de <https://teoriadesistemasunefazulia.files.wordpress.com/2012/11/concepcic3b3n-holc3adstica-del-riesgo.pdf>
- Bratti, J. (21 de Junio de 2015). *Instituto Juan Zorrilla de San Martín*. Obtenido de http://www.geomultiplesescalas.ecaths.com/index.php?q=verforo&foro_id=17257
- Capa, A. (18 de Marzo de 2017).
- Carrera, E. (10 de Agosto de 2014). *Introduccion Puentes*. Obtenido de Puentes: <http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/1-introduccion-puentes>
- Carrillo, L. (2013). *Simulación de lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del programa HEC-RAS*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de Simulación de lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del programa HEC-RAS: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6532/1/AC-CIV-ESPE-047084.pdf>
- Castillo Cabrera, J. M. (2012). *Los Volcanes*. El Cid Editor.
- Chillos, A. z. (26 de Octubre de 2011). *Importancia ecológica del cerro Ilaló*. Obtenido de Importancia ecológica del cerro Ilaló: <https://administracionzonalloschillos.wordpress.com/2011/10/26/importancia-ecologica-del-cerro-ilalo/>
- Clarke, C. P. (2006). *Riesgo y Desastres*. Inter-American Development Bank.

- DefiniciónABC*. (s.f.). Obtenido de DefiniciónABC:
<http://www.definicionabc.com/tecnologia/puente.php>
- El Planeta Azul*. (s.f.). Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de Riesgo sísmico de Ecuador: <https://jfbblueplanet.blogspot.com/2013/08/>
- Equipo de redaccion, R. E. (6 de Enero de 2016). *Tipos de*. Obtenido de <http://www.mastiposde.com>
- Escobar, G., & Oña , G. (Enero de 2017).
- Geocities. (Octubre de 2009). *Puentes de mampostería*. Obtenido de <http://www.oocities.org/capecanaveral/galaxy/2208/mamposteria.html>
- Geofísico, I. (2016). *IG EPN*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal*. (s.f.). Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, de Rumiñahui Ciudad Contigo:
http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=158&lang=es
- Gómez Soberón , C., Barrera Bautista, L., & Miranda Cid, D. (2006). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*. Obtenido de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_14/te_07/ar_02.pdf
- Google Earth*. (2016). Recuperado el 11 de Enero de 2017
- Halla, J. C. (11 de Febrero de 2012). *Desastres Naturales*. Obtenido de <http://www.desastresnatu.blogspot.com/>
- IGEPN. (02 de Junio de 2015). *Informe especial volcán Cotopaxi* . Recuperado el 17 de Noviembre de 2016, de <http://www.igepn.edu.ec/cotopaxi/informes-cotopaxi/coto-especiales/coto-e-2015/12951-informe-especial-cotopaxi-02062015/file>
- IG-EPN. (2013). Recuperado el 28 de Mayo de 2017
- IGEPN. (21 de Agosto de 2015). Recuperado el 17 de Noviembre de 2016, de Informe especial volcán Cotopaxi N9: <http://www.igepn.edu.ec/cotopaxi/informes-cotopaxi/coto-especiales/coto-e-2015/13327-informe-especial-cotopaxi-21-08-2015/file>
- IGEPN. (02 de Junio de 2015). *Informe especial volcán Cotopaxi*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2016, de <http://www.igepn.edu.ec/cotopaxi/informes-cotopaxi/coto-especiales/coto-e-2015/12951-informe-especial-cotopaxi-02062015/file>

- IG-EPN. (2015). *Informe especial volcán Cotopaxi N°7*. Quito.
- IGEPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N°13*.
- IG-EPN. (17 de Abril de 2016). *Informe Técnico del Sismo de Pedernales*. Recuperado el 19 de Mayo de 2017, de Informe Técnico del Sismo de Pedernales: <http://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-especiales/sism-e-2016/14680-informe-especial-n-13-2016/file>
- IGEPN. (2016). *Instituto Geofísico*. Obtenido de www.igepn.edu.ec/cotopaxi
- IG-EPN. (2017). *Antisana*. Obtenido de Antisana: <http://www.igepn.edu.ec/antisana>
- IG-EPN. (2017). *Cotopaxi*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/cotopaxi>
- IG-EPN. (2017). *Red de Observatorios Vulcanológicos*. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>
- INEC. (2010). *INEC*. Obtenido de www.inec.gob.ec
- Ingeniería Civil*. (s.f.). Recuperado el 09 de Julio de 2017, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/disenio-y-construccion-de-puentes.html>
- Jove, E. A. (2014). *Puentes*. Obtenido de Puentes: <http://civilpuentesiupsm.blogspot.com/2012/07/tipos-de-puentes.html>
- LaBastille, A. (20 de Mayo de 2015). *Amenazas Socio-Naturales*. Obtenido de <http://dnaturales.galeon.com/amenazas.htm>
- Los Puentes. Clasificación*. (s.f.). Obtenido de http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm
- Mario Leiva, D. R. (1992). *Riesgos y prevención de desastres en zonas pobladas y obras civiles ante la hipótesis de erupción del volcán Cotopaxi*. Quito.
- Miliarium*. (2008). Obtenido de Miliarium: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>
- MSPO. (24 de Junio de 2014). *Cantón Rumiñahui*. Obtenido de <http://canton-ruminahui.blogspot.com/2014/06/datos-generales-del-canton-ruminahui.html>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción*. (2015). Quito: Dirección de Comunicación, MIDUVI.
- Ordóñez, J., Samaniego, P., & Mothes, P. (2013). *Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de Las

potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi :
<https://www.slideshare.net/Lufercorpi/lahares-del-cotopaxi>

Pasochoa. (25 de Marzo de 2017). Obtenido de Pasochoa:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Pasochoa>

Patterson Casanova, O. (1993). *Referencias conceptuales en el abordaje de los desastres naturales*. Red Universidad Nacional de Costa Rica.

Pino, F. (2 de Mayo de 2011). *Tipos de Desastres Naturales*. Obtenido de
<http://www.batanga.com/curiosidades/2011/02/05/tipos-de-desastres-naturales-que-existen>

Riesgo, S. N. (2012). *Análisis de vulnerabilidad cantón Rumiñahui*. Quito.

Riesgos, S. N. (2013). *Análisis de Vulnerabilidad Cantón Rumiñahui*.

Soberon, C. G., Barrera Bautista, L., & Miranda Cid, D. (2006). *Metodología de Estimación Preliminar de la Vulnerabilidad de Puentes basada en procedimientos*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de
www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_14/te_07/ar_02.pdf

Soberón, M. G. (Mayo de 2010). *Vulnerabilidad de puentes carreteros por irregularidad de la subestructura*. Recuperado el 09 de Julio de 2017, de
Vulnerabilidad de puentes carreteros por irregularidad de la subestructura:
<http://materiales.azc.uam.mx/area/Estructuras/2260519/Conferencia/Presentaci%C3%B3n%20conferencia.pdf>

Tumbaco, G. (2016). *Volcán Ilaló*. Obtenido de Volcán Ilaló:
<http://www.tumbaco.gob.ec/web/turismo/lugares-que-visitar/volcan-ilalo>

Vásquez, D., & Orozco, C. (29 de Agosto de 2006). *Recuperación Hidrosanitaria del Río Capelo*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1754/1/T-ESPE-014957.pdf>

Villalobos, J. E., & Cardoza, M. A. (Agosto de 2005). *Evaluación estructural de un puente mediante la realización de una prueba de carga estática*. Obtenido de Evaluación estructural de un puente mediante la realización de una prueba de carga estática.:
<http://ri.ues.edu.sv/4554/1/Evaluaci%C3%B3n%20estructural%20de%20un%20puente%20mediante%20la%20realizaci%C3%B3n%20de%20una%20prueba%20de%20carga%20est%C3%A1tica.pdf>

Villarino, A. (s.f.). *Puentes*. Obtenido de Puentes: <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf>

Volcán Pasochoa. (2017). Obtenido de Volcán Pasochoa:

<https://www.goraymi.com/item/volcan-pasochoa-e03267c0d4>

Wikivia. (27 de Octubre de 2009). Recuperado el 09 de Julio de 2017, de

[http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Esviaje_\(vial%C3%A9xico\)](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Esviaje_(vial%C3%A9xico))

Yepes, H. (13 de Agosto de 2014). *IG EPN*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de IG

EPN: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/898-breve-rese%C3%B1a-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geol%C3%B3gica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>